



TESIS - TK 142541

**EKSTRAKSI MINYAK ATSIRI DARI DAUN NILAM
(*Pogostemon cablin* Benth) DAN GAHARU
(*Aquilaria malaccensis*) DENGAN METODE
MICROWAVE AIR-HYDRODISTILLATION DAN
SOLVENT-FREE MICROWAVE EXTRACTION**

DITTA KHARISMA YOLANDA PUTRI
NRP. 02211650010016

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Mahfud, DEA

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNOLOGI PROSES
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



THESIS - TK 142541

ESSENTIAL OIL EXTRACTION OF *Pogostemon cablin* Benth AND *Aquilaria malaccensis* USING MICROWAVE AIR-HYDRODISTILLATION AND SOLVENT-FREE MICROWAVE EXTRACTION METHODS

DITTA KHARISMA YOLANDA PUTRI
Student Identity Number 02211650010016

SUPERVISOR
Prof. Dr. Ir. Mahfud, DEA

MASTER PROGRAM
FIELD OF EXPERTISE PROCESS TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

EKSTRAKSI MINYAK ATSIRI DARI DAUN NILAM (*Pogostemon cablin* Benth) DAN GAHARU (*Aquilaria malaccensis*) DENGAN METODE MICROWAVE AIR- HYDRODISTILLATION DAN SOLVENT-FREE MICROWAVE EXTRACTION

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Ditta Kharisma Yolanda Putri

NRP. 02211650010016

Tanggal Ujian : 09 Juli 2018

Periode Wisuda : September 2018

Disetujui oleh :

1. Prof. Dr. Ir. Mahfud, DEA
NIP. 19610802 198601 1 001

(Pembimbing)

2. Dr. Siti Machmudah, S.T., M.Eng.
NIP. 19730512 199903 2 001

(Penguji 1)

3. Dr. Lailatul Qadariyah, S.T., M.T.
NIP. 19760918 200312 2 002

(Penguji 2)

4. Hakun Wirawasista A., S.T., MMT., Ph.D
NIP. 19780922 200812 1 001

(Penguji 3)



Dekan Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, ST., MT
NIP. 19690507 199512 1 001

**EKSTRAKSI MINYAK ATSIRI DARI DAUN NILAM
(*Pogostemon cablin* Benth) DAN GAHARU (*Aquilaria
malaccensis*) DENGAN METODE *MICROWAVE AIR-
HYDRODISTILLATION* DAN *SOLVENT-FREE MICROWAVE
EXTRACTION***

Nama Mahasiswa : Ditta Kharisma Yolanda Putri
NRP : 02211650010016
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Mahfud, DEA

ABSTRAK

Minyak nilam (*Patchouli oil*) dan minyak gaharu (*Agarwood oil*) biasanya dihasilkan dari penyulingan secara konvensional yang prosesnya memerlukan energi yang besar, pelarut dalam jumlah yang banyak, dan waktu yang cukup lama. Oleh karena itu, perlu dipertimbangkan untuk menggunakan “*green technique*” baru dalam ekstraksi minyak atsiri dengan penggunaan energi, pelarut, dan waktu yang minimum. Sehingga pada penelitian ini akan digunakan pengembangan dari metode *microwave hydrodistillation* yaitu metode *microwave air-hydrodistillation* dan metode *solvent-free microwave extraction* untuk mengoptimalkan proses ekstraksi minyak atsiri.

Tujuan dalam penelitian ini adalah mempelajari faktor-faktor yang berpengaruh terhadap metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* pada ekstraksi minyak nilam dan minyak gaharu, yang meliputi daya *microwave*, rasio antara bahan baku yang akan diekstrak dengan pelarut atau *distiller* yang digunakan, waktu perendaman, kondisi dan ukuran dari bahan baku yang akan diekstrak, serta pengaruh dari ada tidaknya penambahan aliran udara pada metode *microwave air-hydrodistillation* terhadap *yield* dan *recovery* minyak yang dihasilkan. Selain itu dalam penelitian ini juga ditentukan model kinetika dan optimasi menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM) untuk ekstraksi minyak nilam dengan menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction*.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah daun nilam (*Pogostemon cablin* Benth) dalam kondisi segar dan kering serta gaharu (*Aquilaria malaccensis*) dalam kondisi kering. Pada ekstraksi dengan metode *microwave-air hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* dilakukan pada daya 150, 300, 450, dan 600 W, rasio bahan baku terhadap *solvent*: untuk daun nilam (*Pogostemon cablin* Benth) adalah 0,20, 0,30, 0,40, dan 0,50 g mL⁻¹, sedangkan untuk gaharu (*Aquilaria malaccensis*) adalah 0,75 g mL⁻¹ rasio bahan baku terhadap *distiller*: untuk daun nilam (*Pogostemon cablin* Benth) adalah 0,06, 0,08, 0,10, dan 0,12 g mL⁻¹, sedangkan untuk gaharu (*Aquilaria malaccensis*) adalah 0,15 g mL⁻¹, ukuran bahan baku: untuk daun nilam adalah utuh, setengah utuh (dipotong hingga ukurannya \pm 50% dari ukuran bahan baku utuh), dan cacah (dipotong hingga

ukurannya $\leq 10\%$ dari ukuran bahan baku utuh) sedangkan untuk gaharu dalam bentuk cacah (± 2 cm). Pada ekstraksi minyak nilam, waktu ekstraksi yang digunakan untuk metode *microwave air-hydrodistillation*: 1, 2, dan 3 jam dengan waktu pengamatan setiap 20 menit serta untuk metode *solvent-free microwave extraction*: 30, 60, dan 90 menit dengan waktu pengamatan setiap 10 menit. Sedangkan pada ekstraksi minyak gaharu, waktu ekstraksi yang digunakan untuk metode *microwave air-hydrodistillation* selama 4 jam dengan waktu pengamatan setiap 2 jam serta untuk metode *solvent-free microwave extraction* selama 3 jam dengan waktu pengamatan setiap 1,5 jam. Untuk ekstraksi dengan metode *microwave air-hydrodistillation* laju aliran udara yang digunakan adalah 0, 0,5, dan 1,0 L/min, serta untuk ekstraksi minyak gaharu dengan metode *solvent-free microwave extraction*, dilakukan perendaman bahan selama 0,5, 6, dan 24 jam.

Dari hasil penelitian dapat dilihat bahwa secara umum ekstraksi minyak nilam menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* menghasilkan *yield* yang lebih besar dengan waktu yang lebih singkat jika dibandingkan dengan metode *microwave air-hydrodistillation*. Kondisi operasi optimal untuk ekstraksi daun nilam segar dan kering dengan menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* diperoleh ketika menggunakan daya *microwave* 450 W, ukuran bahan cacah, rasio massa bahan baku terhadap *volume solvent* 0,3 g/mL dan laju aliran udara 0,5 L/min. Kondisi operasi optimal untuk ekstraksi daun nilam segar dengan menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* diperoleh ketika menggunakan daya *microwave* 300 W, ukuran bahan cacah, dan rasio massa bahan baku terhadap *volume distiller* 0,06 g/mL. Sedangkan kondisi operasi optimal untuk ekstraksi daun nilam kering dengan menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* diperoleh ketika menggunakan daya *microwave* 450 W, ukuran bahan utuh, dan rasio massa bahan baku terhadap *volume distiller* 0,06 g/mL. Dan untuk ekstraksi minyak gaharu dengan metode *microwave air-hydrodistillation* lebih efektif dibandingkan metode *solvent-free microwave extraction*, dengan kondisi operasi yaitu daya *microwave* 600 W, waktu perendaman 6 jam, waktu ekstraksi 4 jam, rasio antara massa bahan baku terhadap *volume solvent* 0,15 g/mL, dan laju aliran udara 1,0 L/min. Penambahan aliran udara pada metode *microwave air-hydrodistillation* mampu meningkatkan *yield* dan akumulasi *recovery* minyak nilam dan minyak gaharu yang diperoleh, namun laju alirnya juga harus disesuaikan dengan karakteristik bahan. Berdasarkan pemodelan kinetika yang telah dilakukan, maka dapat dikatakan bahwa model kinetika orde dua lebih dapat merepresentasikan secara baik hasil eksperimen dari ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar dan kering dengan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* apabila dibandingkan dengan model kinetika orde satu. Selain itu untuk hasil optimasi proses ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar dan kering dengan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) diperoleh kondisi operasi optimal yaitu: untuk ekstraksi minyak nilam dengan metode *microwave air-hydrodistillation* dari daun nilam segar (daya *microwave* 486,792 W, rasio F/S 0,2966 g/mL, waktu ekstraksi 173,051 menit, dan laju aliran udara 0,0913 L/min) dan dari daun nilam kering (daya *microwave* 587,107 W, rasio F/S 0,2433 g/mL, waktu ekstraksi 161,92 menit, dan laju aliran udara 0,8757 L/min), sedangkan dengan metode *solvent-free microwave extraction* dari daun nilam segar (daya

microwave 380,433 W, rasio F/D 0,0526 g/mL, dan waktu ekstraksi 90 menit) dan dari daun nilam kering (daya *microwave* 486,433 W, rasio F/D 0,0528 g/mL, dan waktu ekstraksi 89,9999 menit). Berdasarkan hasil pengujian terhadap sifat fisik dari minyak nilam menunjukkan bahwa minyak nilam yang diperoleh dengan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* memiliki kualitas (berat jenis dan kelarutan dalam alkohol) yang sama. Sedangkan pengujian terhadap sifat kimia pada minyak nilam menunjukkan bahwa kadar patchouli alcohol dari minyak nilam yang diperoleh dengan metode *solvent-free microwave extraction* lebih besar jika dibandingkan dengan yang diperoleh menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation*, dan pada minyak gaharu yang diperoleh dengan metode *microwave air-hydrodistillation* memiliki komponen tertinggi yaitu γ -Gurjunene sedangkan dengan metode *solvent-free microwave extraction* yaitu Aromadendrene. Berdasarkan hasil pengujian terhadap sifat fisik dan kimia, minyak nilam hasil ekstraksi menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* telah sesuai dengan standar kualitas SNI 06-2385-2006 dan ISO 3757 : 2002 (E), sedangkan untuk minyak gaharu telah sesuai dengan penelitian terdahulu.

Kata kunci: *microwave air-hydrodistillation, solvent-free microwave extraction, minyak nilam, minyak gaharu, pemodelan kinetika, Response Surface Methodology*

ESSENTIAL OIL EXTRACTION OF *Pogostemon cablin* Benth AND *Aquilaria malaccensis* USING MICROWAVE AIR- HYDRODISTILLATION AND SOLVENT-FREE MICROWAVE EXTRACTION

Name : Ditta Kharisma Yolanda Putri
Student Identity Number : 02211650010016
Advisor : Prof. Dr. Ir. Mahfud, DEA

ABSTRACT

Patchouli oil and Agarwood oil are usually produced from conventional distillation process which requires great energy, solvents in significant amounts, and quite a long time. Therefore, should be considered to use "green technique" in the extraction of essential oils with the minimum energy, solvent, and time. This research will use the development of microwave hydrodistillation method are microwave air-hydrodistillation and solvent-free microwave extraction method to optimize the extraction of essential oils.

The purpose of this research is to study the factors that influence the microwave air-hydrodistillation and solvent-free microwave extraction methods, which include microwave power, the ratio of raw material to be extracted with a solvent or the distiller used, soaking time, condition and size of the raw materials to be extracted, and the influence of the presence or absence of additional airflow in microwave-air-hydrodistillation method to the yield and recovery of oil produced. In addition, this research also determined kinetics and optimization model using Response Surface Methodology (RSM) method for patchouli oil extraction using microwave air-hydrodistillation and solvent-free microwave extraction method.

*The material used in this research were patchouli leaves (*Pogostemon cablin* Benth) in fresh and dry conditions and agarwood (*Aquilaria malaccensis*) in dry conditions. In extraction using microwave air-hydrodistillation and solvent-free microwave extraction methods performed at 150, 300, 450, and 600 W, the ratio of raw material to solvent: for patchouli (*Pogostemon cablin* Benth) was 0.20, 0.30, 0.40, and 0.50 g mL⁻¹, while for agarwood (*Aquilaria malaccensis*) was 0.75 g mL⁻¹, the ratio of raw material to the distiller: for patchouli (*Pogostemon cablin* Benth) was 0.06, 0.08, 0.10, and 0.12 g mL⁻¹, while for agarwood (*Aquilaria malaccensis*) was 0.15 g mL⁻¹, the size of the raw material: for patchouli leaves is intact, half intact (cut to $\pm 50\%$ size of raw material intact), and chopped (cut to size $\leq 10\%$ of the size of the raw material intact) while for agarwood in the chopped size (± 2 cm). At the extraction of patchouli oil, the extraction time used for microwave air-hydrodistillation method: 1, 2, and 3 hours with observation time*

every 20 minutes and for solvent-free microwave extraction method: 30, 60, and 90 minutes with observation time every 10 minute. While on agarwood oil extraction, extraction time used for microwave air-hydrodistillation method for 4 hours with observation time every 2 hours and for solvent-free microwave extraction method for 3 hours with observation time every 1.5 hours. For extraction using microwave-air-hydrodistillation method the airflow rate used was 0, 0.5, and 1.0 L/min, and for the extraction of agarwood oil using solvent-free microwave extraction method the soaking material has been done for 0.5, 6, and 24 hours.

The intermediate results obtained in this study are the optimal operating conditions for the extraction of fresh patchouli leaves using solvent-free microwave extraction method obtained when using microwave power of 300 W, with chopped leaves, and the ratio of raw material with volume of distiller is 0,06 g/mL. The optimal operating conditions for the extraction of dried patchouli leaves using solvent-free microwave extraction method obtained when using microwave power of 450 W, with intact leaves, and the ratio of raw material with volume of distiller is 0,06 g/mL. And for the extraction of agarwood oil using solvent-free microwave extraction method, the optimal operating conditions were obtained when using agarwood materials with powder sizes, microwave power of 300 W, and the ratio of raw material with volume of distiller is 0.01 g / mL. Based on the test result on the physical properties of patchouli oil showed that patchouli oil obtained using solvent-free microwave extraction method has quality (density and solubility in alcohol) that has been in accordance with quality standards SNI 06-2385-2006 and ISO 3757: 2002 (E).

From the research results it can be seen that in general the extraction of patchouli oil using solvent-free microwave extraction method produces a larger yield with a shorter time when compared with the microwave air-hydrodistillation method. The optimum operating conditions for the extraction of fresh and dried patchouli leaves using microwave air-hydrodistillation method were obtained when using microwave power of 450 W, with chopped leaves, the ratio of raw material with volume of solvent is 0,3 g/mL and the airflow rate of 0.5 L/min. The optimum operating conditions for the extraction of fresh patchouli leaves using solvent-free microwave extraction method obtained when using microwave power of 300 W, with chopped leaves, and the ratio of raw material with volume of distiller is 0,06 g/mL. The optimum operating conditions for the extraction of dried patchouli leaves using solvent-free microwave extraction method obtained when using microwave power of 450 W, with intact leaves, and the ratio of raw material with volume of distiller is 0,06 g/mL. And for extraction of agarwood oil using microwave air-hydrodistillation method is more effective than solvent-free microwave extraction method with operating conditions were microwave power of 600 W, soaking time for 6 hours, extraction time for 4 hours, the ratio of raw material with volume of solvent is 0,15 g/mL, and airflow rate of 1.0 L/min. The addition of airflow to the microwave air-hydrodistillation method can increase the yield and accumulated recovery of patchouli oil and agarwood oil obtained, but the flow rate must also be adjusted to the material characteristics. Based on kinetic modeling that has been done, it can be said that second-order kinetics model can better represent experiment result from patchouli oil extraction from fresh and dried patchouli using microwave air-hydrodistillation and solvent-free microwave extraction methods

when compared with first-order kinetics model. In addition to optimizing the process of extraction patchouli oil from fresh and dried patchouli leaves using microwave air-hydrodistillation and solvent-free microwave extraction method using Response Surface Methodology (RSM) obtained optimal operating conditions are: for the extraction of patchouli oil using microwave air-hydrodistillation method from fresh patchouli leaves (microwave power of 486,792 W, F/S ratio of 0.2966 g/mL, extraction time for 173,051 min, and air flow rate of 0.0913 L/min) and from dried patchouli leaves (microwave power of 587,107 W, F/S ratio 0.2433 g/mL, extraction time for 161.92 min, and airflow rate of 0.8757 L/min), while with solvent-free microwave extraction method from fresh patchouli leaves (microwave power of 380,433 W, F/D ratio of 0.0526 g/mL, and extraction time for 90 min) and from dried patchouli leaves (microwave power of 486,433 W, F/D ratio of 0.0528 g/mL, and extraction time for 89.9999 min). Based on the test for physical properties of patchouli oil showed that the essential oil obtained using microwave air-hydrodistillation and solvent-free microwave extraction methods have the same quality (density and solubility in alcohol). While the test for the chemical properties of patchouli oil showed that the patchouli alcohol content obtained by solvent-free microwave extraction method has higher when compared with those obtained using microwave air-hydrodistillation method, and in agarwood oil obtained by using microwave air-hydrodistillation has the highest component that is γ -Gurjunene while with solvent-free microwave extraction method that is Aromadendrene. Based on test result on physical and chemical properties, patchouli oil extracted using microwave air-hydrodistillation and solvent-free microwave extraction methods have been in accordance with quality standards SNI 06-2385-2006 and ISO 3757: 2002 (E), while for agarwoodoil accordance with the previous studies.

Keywords: *microwave air-hydrodistillation, solvent-free microwave extraction, patchouli oil, agarwod oil, kinetic modeling, Response Surface Methodology*

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Laporan Tesis dengan judul:

**EKSTRAKSI MINYAK ATSIRI DARI DAUN NILAM (*Pogostemon cablin*
Benth) DAN GAHARU (*Aquilaria malaccensis*) DENGAN METODE
MICROWAVE AIR-HYDRODISTILLATION DAN SOLVENT-FREE
MICROWAVE EXTRACTION**

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih atas segala bantuannya dalam penyelesaian laporan Tesis ini kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Mahfud, DEA, selaku Dosen Pembimbing dan juga Kepala Laboratorium Teknologi Proses Kimia, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
2. Bapak Juwari, S.T, M.Eng, Ph.D, selaku Kepala Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
3. Bapak Dr. Tantular Nurtono, S.T., M.Eng., selaku Ketua Program Studi Pascasarjana Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
4. Kedua orang tua tercinta serta seluruh keluarga penulis atas doa dan dukungan dalam penyelesaian laporan Tesis ini,
5. ITS yang telah memberikan beasiswa *freshgraduate* kepada penulis hingga lulus kuliah Program Magister,
6. Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) Kementerian Keuangan Republik Indonesia, selaku pemberi Bantuan Beasiswa Tesis,
7. Rekan-rekan Pascasarjana dan Strata 1 (S-1) Laboratorium Teknologi Proses Kimia, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
8. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
9. Keluarga besar Institut Teknologi Sepuluh Nopember serta semua pihak lain yang terlibat dalam penyusunan laporan Tesis ini hingga selesai, yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Penulis merasa masih terdapat banyak kekurangan dalam naskah laporan Tesis ini, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik untuk kesempurnaan Laporan Tesis ini.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxii
DAFTAR SINGKATAN	xx
 BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	6
1.3. Tujuan Penelitian	7
1.4. Manfaat Penelitian	7
 BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	
2.1. Tinjauan Umum Nilam (<i>Pogostemon cablin</i> Benth)	9
2.1.1. Klasifikasi	9
2.1.2. Deskripsi Tanaman	9
2.2. Minyak Nilam	11
2.2.1. Karakteristik Minyak Nilam	11
2.2.2. Standar Mutu Minyak Nilam	12
2.3. Tinjauan Umum Gaharu (<i>Aquilaria malaccensis</i>).....	13
2.3.1. Klasifikasi	13
2.3.2. Deskripsi Tanaman	13
2.4. Minyak Gaharu	15
2.5. Proses Pengambilan Minyak Atsiri	18
2.5.1. Ekstraksi	18

2.5.2. Metode Distilasi	19
2.6. Gelombang Mikro (<i>Microwave</i>)	21
2.6.1. Definisi Gelombang Mikro (<i>Microwave</i>)	21
2.6.2. Mekanisme Pemanasan dengan Gelombang Mikro (<i>Microwave</i>)	23
2.7. Ekstraksi dengan <i>Microwave</i> (<i>Microwave-assisted Extraction</i>)	25
2.8. Parameter Minyak Atsiri	26
2.9. Pemodelan Kinetika pada Proses Ekstraksi	27
2.9.1. Model Kinetika Orde Satu	27
2.9.2. Model Kinetika Orde Dua	27
2.10. <i>Response Surface Methodology (RSM)</i>	29
2.11. Penelitian Terdahulu	32

BAB 3 METODA PENELITIAN

3.1. Rancangan Penelitian	37
3.2. Bahan dan Alat	37
3.2.1. Bahan	37
3.2.2. Peralatan yang Digunakan	38
3.2.2.1. Peralatan untuk Metode <i>Microwave Air-Hydrodistillation</i>	38
3.2.2.2. Peralatan untuk Metode <i>Solvent-Free Microwave Extraction</i>	39
3.3. Prosedur Penelitian	40
3.3.1. Ekstraksi Minyak Nilam dengan Metode <i>Microwave Air-Hydrodistillation</i>	40
3.3.2. Ekstraksi Minyak Gaharu dengan Metode <i>Microwave Air-Hydrodistillation</i>	41
3.3.3. Ekstraksi Minyak Nilam dengan Metode <i>Solvent-Free Microwave Extraction</i>	42
3.3.4. Ekstraksi Minyak Gaharu dengan Metode <i>Solvent-Free Microwave Extraction</i>	43

3.4. Diagram Alir Penelitian	44
3.5. Kondisi Operasi dan Variabel Penelitian	47
3.5.1. Kondisi Operasi	47
3.5.2. Variabel Penelitian	48
3.6. Besaran yang Diukur dan Analisa terhadap Minyak Atsiri	49
3.7. Pemodelan Matematika	49

BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Parameter yang Berpengaruh pada Ekstraksi Minyak Nilam dan Minyak Gaharu dengan Metode <i>Microwave Air-Hydrodistillation</i> dan <i>Solvent-Free Microwave Extraction</i>	51
4.1.1. Pengaruh Kondisi Bahan terhadap <i>Yield</i> Minyak Nilam...	52
4.1.2. Pengaruh Metode Ekstraksi terhadap <i>Yield</i> Minyak Nilam dan Minyak Gaharu.....	55
4.1.3. Pengaruh Daya Microwave terhadap <i>Yield</i> Minyak Nilam.....	58
4.1.4. Pengaruh Ukuran Bahan Baku terhadap <i>Yield</i> Minyak Nilam dan Minyak Gaharu.....	64
4.1.5. Pengaruh Rasio Antara Massa Bahan Baku dengan Volume <i>Solvent</i> (F/S) terhadap <i>Yield</i> Minyak Nilam	68
4.1.6. Pengaruh Rasio Antara Massa Bahan Baku dengan Volume <i>Distiller</i> (F/D) terhadap <i>Yield</i> Minyak Nilam ..	72
4.1.7. Pengaruh Penambahan Laju Aliran Udara pada Metode <i>Microwave Air-Hydrodistillation</i> terhadap <i>Yield</i> Minyak Nilam	73
4.1.8. Pengaruh Waktu Perendaman terhadap <i>Yield</i> Minyak Gaharu yang diekstraksi dengan Metode <i>Solvent-Free Microwave Extraction</i>	74
4.2. Perbandingan <i>Recovery</i> pada Ekstraksi Minyak Nilam dengan Metode <i>Microwave Air-Hydrodistillation</i> dan <i>Solvent-Free Microwave Extraction</i>	75
4.3. Pemodelan Kinetika pada Ekstraksi Minyak Nilam dengan	

Metode <i>Microwave Air-Hydrodistillation</i> dan <i>Solvent-Free Microwave Extraction</i>	77
4.4. Optimasi Ekstraksi Minyak Nilam dengan <i>Response Surface Methodology</i> (RSM).....	84
4.4.1. Optimasi pada Ekstraksi Minyak Nilam dari Daun Nilam Segar menggunakan Metode <i>Microwave Air-Hydrodistillation</i> dengan <i>Response Surface Methodology</i> (RSM).....	84
4.4.2. Optimasi pada Ekstraksi Minyak Nilam dari Daun Nilam Kering menggunakan Metode <i>Microwave Air-Hydrodistillation</i> dengan <i>Response Surface Methodology</i> (RSM).....	89
4.4.3. Optimasi pada Ekstraksi Minyak Nilam dari Daun Nilam Segar menggunakan Metode <i>Solvent-Free Microwave Extraction</i> dengan <i>Response Surface Methodology</i> (RSM).....	95
4.4.4. Optimasi pada Ekstraksi Minyak Nilam dari Daun Nilam Segar menggunakan Metode <i>Solvent-Free Microwave Extraction</i> dengan <i>Response Surface Methodology</i> (RSM).....	99
4.5. Hasil Analisa Sifat Fisik dan Kimia Minyak Nilam dan Minyak Gaharu yang diperoleh dengan Metode <i>Microwave Air-Hydrodistillation</i> dan <i>Solvent-Free Microwave Extraction</i>	103
4.5.1. Hasil Analisa Fisik Minyak Nilam yang diperoleh dengan Metode <i>Microwave Air-Hydrodistillation</i> dan <i>Solvent-Free Microwave Extraction</i>	104
4.5.2. Hasil Analisa GC-MS Minyak Nilam dan Minyak Gaharu yang diperoleh dengan Metode <i>Microwave Air-Hydrodistillation</i> dan <i>Solvent-Free Microwave Extraction</i>	105
4.5.3. Hasil Analisa SEM Daun Nilam dan Gaharu.....	113

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan	115
5.2. Saran	118
 DAFTAR PUSTAKA	 119
LAMPIRAN A	A-1
LAMPIRAN B	B-1
LAMPIRAN C	C-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Tanaman nilam (<i>Pogostemon cablin</i> Benth)	9
Gambar 2.2.	Struktur Patchouli alcohol	11
Gambar 2.3.	Tanaman gaharu (<i>Aquilaria malaccensis</i>)	13
Gambar 2.4.	Distilasi dengan air (<i>hydro distillation</i>)	20
Gambar 2.5.	Distilasi dengan uap dan air (<i>steam-hydro distillation</i>)	20
Gambar 2.6.	Distilasi dengan uap (<i>steam distillation</i>)	21
Gambar 2.7.	Sketsa gelombang elektromagnetik	22
Gambar 2.8.	Mekanisme pemanasan oleh gelombang mikro (<i>microwave</i>) (Taylor <i>et al.</i> , 2005)	24
Gambar 2.9.	Skema peralatan <i>microwave-assisted hydrodistillation</i>	25
Gambar 2.10.	<i>Central Composite Design</i> (CCD)	31
Gambar 2.11.	Jenis <i>Central Composite Design</i> (CCD)	31
Gambar 3.1.	Skema alat untuk ekstraksi minyak nilam dan minyak gaharu dengan menggunakan metode <i>microwave air-hydrodistillation</i>	38
Gambar 3.2.	Skema alat untuk ekstraksi minyak nilam dan minyak gaharu dengan menggunakan metode <i>solvent-free microwave extraction</i>	40
Gambar 3.3.	Diagram alir penelitian untuk ekstraksi minyak nilam dengan menggunakan metode <i>microwave air-hydrodistillation</i>	44
Gambar 3.4.	Diagram alir penelitian untuk ekstraksi minyak gaharu dengan menggunakan metode <i>microwave air-hydrodistillation</i>	45
Gambar 3.5.	Diagram alir penelitian untuk ekstraksi minyak nilam dengan menggunakan metode <i>solvent-free microwave extraction</i>	46

Gambar 3.6.	Diagram alir penelitian untuk ekstraksi minyak gaharu dengan menggunakan metode <i>solvent-free microwave extraction</i>	47
Gambar 4.1.	Pengaruh kondisi daun nilam pada berbagai laju aliran udara terhadap <i>yield</i> minyak nilam yang diekstraksi dengan metode <i>microwave air-hydrodistillation</i> selama 180 menit (daya <i>microwave</i> 450 W, ukuran cacah, dan rasio F/S 0,3 g/mL).....	54
Gambar 4.2.	Pengaruh kondisi daun nilam pada berbagai ukuran terhadap <i>yield</i> yang diekstraksi dengan metode <i>solvent-free microwave extraction</i> selama 90 menit (daya <i>microwave</i> 300 W dan rasio F/D 0,06 g/mL).....	54
Gambar 4.3.	Pengaruh metode ekstraksi pada berbagai kondisi daun nilam terhadap <i>yield</i> (daya <i>microwave</i> 450 W, laju aliran udara 0,5 L/min, rasio F/S 0,30 g/mL, rasio F/D 0,06 g/mL dan ukuran bahan cacah ($0,92 \pm 0,12$ cm untuk bahan segar dan $0,77 \pm 0,21$ cm untuk bahan kering)).....	56
Gambar 4.4.	Pengaruh metode ekstraksi terhadap <i>yield</i> minyak gaharu (daya <i>microwave</i> 600 W, laju aliran udara 1 L/min, rasio F/S 0,75 g/mL, dan rasio F/D 0,15 g/mL)....	58
Gambar 4.5.	Profil waktu-temperatur untuk berbagai daya <i>microwave</i> menggunakan bahan nilam kering berukuran utuh menggunakan metode : (a) <i>microwave air-hydrodistillation</i> (rasio F/S 0,4 g/mL, laju aliran udara 0,5 L/min) dan (b) <i>solvent-free microwave extraction</i> (rasio F/D 0,06 g/mL).....	60
Gambar 4.6.	Pengaruh daya <i>microwave</i> terhadap <i>yield</i> minyak nilam yang diperoleh menggunakan metode <i>microwave air-hydrodistillation</i> untuk daun nilam cacah, rasio F/S 0,3 g/mL, dan laju aliran udara 0,5 L/min.....	62
Gambar 4.7.	Pengaruh daya <i>microwave</i> terhadap <i>yield</i> minyak nilam	

	yang diperoleh menggunakan metode <i>solvent-free microwave extraction</i> untuk: (a) daun utuh (rasio F/D 0,06 g/mL) (b) daun setengah utuh (rasio F/D 0,10 g/mL) dan (c) daun cacah (rasio F/D 0,06 g/mL).....	63
Gambar 4.8.	Pengaruh ukuran bahan baku terhadap <i>yield</i> minyak nilam yang diperoleh dengan metode <i>solvent-free microwave extraction</i> dengan daya <i>microwave</i> 300 W untuk: (a) daun nilam segar (rasio F/D 0,08 g/mL) dan (b) daun nilam kering (rasio F/D 0,06 g/mL).....	66
Gambar 4.9.	Pengaruh rasio antara massa bahan baku dengan <i>volume solvent</i> terhadap <i>yield</i> minyak nilam yang diperoleh menggunakan metode <i>microwave air-hydrodistillation</i> daun nilam segar dan kering berukuran cacah dengan daya 450 W dan laju aliran udara 0,5 L/min.....	70
Gambar 4.10.	Pengaruh rasio antara massa bahan baku dengan <i>volume distiller</i> (F/D) terhadap <i>yield</i> minyak nilam yang diperoleh dengan metode <i>solvent-free microwave extraction</i> (daun nilam berukuran utuh, daya 300 W untuk daun nilam segar dan daya 450 W untuk daun nilam kering).....	72
Gambar 4.11.	Pengaruh waktu perendaman bahan sebelum ekstraksi minyak gaharu dengan metode <i>solvent-free microwave extraction</i> terhadap <i>yield</i> minyak gaharu (rasio F/D 0,5 g/mL dan daya <i>microwave</i> 600 W)	75
Gambar 4.12.	Akumulasi <i>recovery</i> minyak nilam dari (a) daun nilam segar dan (b) daun nilam kering yang diperoleh dengan metode <i>microwave air-hydrodistillation</i> dan <i>solvent-free microwave extraction</i> (rasio F/S 0,3 g/mL rasio F/D 0,06 g/mL, daya 450 W, dan laju aliran udara 0,5 L/min)	76
Gambar 4.13.	Perbandingan antara model kinetika orde satu dan orde dua dengan hasil eksperimen pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar yang diperoleh dengan metode: (a) <i>microwave air-hydrodistillation</i> (rasio F/S 0,3 g/mL,	

<p>daya 450 W, dan laju aliran udara 0,5 L/min) dan</p> <p>(b) <i>solvent-free microwave extraction</i> (rasio F/D 0,06 g/mL dan daya 450 W)</p>	81
<p>Gambar 4.14. Perbandingan antara model kinetika orde satu dan orde dua dengan hasil eksperimen pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam kering yang diperoleh dengan metode:</p> <p>(a) <i>microwave air-hydrodistillation</i> (rasio F/S 0,3 g/mL, daya 450 W, dan laju aliran udara 0,5 L/min) dan</p> <p>(b) <i>solvent-free microwave extraction</i> (rasio F/D 0,06 g/mL dan daya 450 W)</p>	82
<p>Gambar 4.15. Plot kontur 2D dan 3D yang menunjukkan pengaruh dari daya <i>microwave</i> (A), rasio F/S (B), waktu ekstraksi (C), dan laju aliran udara (D) pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar menggunakan metode <i>microwave air-hydrodistillation</i> dengan face-centered central composite design (FCCCD)</p>	89
<p>Gambar 4.16. Plot kontur 2D dan 3D yang menunjukkan pengaruh dari daya <i>microwave</i> (A), rasio F/S (B), waktu ekstraksi (C), dan laju aliran udara (D) pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam kering menggunakan metode <i>microwave air-hydrodistillation</i> dengan face-centered central composite design (FCCCD)</p>	94
<p>Gambar 4.17. Plot kontur 2D dan 3D yang menunjukkan pengaruh dari daya <i>microwave</i> (A), rasio F/D (B), dan waktu ekstraksi (C) pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar menggunakan metode <i>solvent-free microwave extraction</i> dengan face-centered central composite design (FCCCD).....</p>	98
<p>Gambar 4.18. Plot kontur 2D dan 3D yang menunjukkan pengaruh dari daya <i>microwave</i> (A), rasio F/D (B), dan waktu ekstraksi (C) pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam kering menggunakan metode <i>solvent-free microwave extraction</i> dengan face-centered central composite design (FCCCD).....</p>	102

Gambar 4.19. Hasil SEM daun nilam sebelum ekstraksi dengan perbesaran 5.000 kali.....	113
Gambar 4.20. Hasil SEM daun nilam kering setelah diekstak menggunakan metode: (a) <i>microwave air-hydrodistillation</i> (b) <i>solvent-free microwave extraction</i> dengan perbesaran 5.000 kali.....	113
Gambar 4.21. Hasil SEM gaharu sebelum ekstraksi dengan perbesaran 10.000 kali.....	114
Gambar 4.22. Hasil SEM gaharu setelah diekstak menggunakan metode: (a) <i>microwave air-hydrodistillation</i> (b) <i>solvent-free microwave extraction</i> dengan perbesaran 10.000 kali.....	114

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Standar mutu minyak nilam menurut SNI 06-2385-1998 dan ISO 3757 : 2002(E)	12
Tabel 2.2.	Komposisi senyawa yang terdapat pada minyak gaharu (<i>Aquilaria crassna</i>) berdasarkan analisa GC-MS (Dahham, S. S. <i>et al.</i> , 2015)	17
Tabel 2.3.	Komposisi senyawa yang terdapat pada minyak gaharu (<i>Aquilaria malaccensis</i>) berdasarkan analisa GC-MS (Ahmaed, D. T. <i>et al.</i> , 2017)	17
Tabel 2.4.	Penelitian terdahulu	32
Tabel 4.1.	Data kadar air bahan dan pengaruhnya terhadap massa bahan	52
Tabel 4.2.	Nilai konstanta dielektrik (<i>dielectric constant</i>) (ϵ') untuk beberapa pelarut pada 2450 MHz dan temperatur kamar (Metaxas, 1996)	68
Tabel 4.3.	Linierisasi model kinetika orde satu dari ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar dan kering yang diperoleh dengan metode <i>microwave air-hydrodistillation</i> dan <i>solvent-free microwave extraction</i> (daya <i>microwave</i> 450 W; rasio F/S 0,3 g/mL; rasio F/D 0,06 g/mL; laju aliran udara 0,5 L/min)	78
Tabel 4.4.	Faktor pada desain eksperimen pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar menggunakan metode <i>microwave</i> <i>air-hydrodistillation</i> dengan face-centered central composite design (FCCCD)	84
Tabel 4.5.	Hasil dan desain eksperimen pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar menggunakan metode <i>microwave</i> <i>air-hydrodistillation</i> dengan face-centered central composite design (FCCCD)	85
Tabel 4.6.	Analisis ANOVA pada ekstraksi minyak nilam dari daun	

	nilam segar menggunakan metode <i>microwave air-hydrodistillation</i> dengan face-centered central composite design (FCCCD)	86
Tabel 4.7.	Faktor pada desain eksperimen pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam kering menggunakan metode <i>microwave air-hydrodistillation</i> dengan face-centered central composite design (FCCCD)	90
Tabel 4.8.	Hasil dan desain eksperimen pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam kering menggunakan metode <i>microwave air-hydrodistillation</i> dengan face-centered central composite design (FCCCD)	90
Tabel 4.9.	Analisis ANOVA pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam kering menggunakan metode <i>microwave air-hydrodistillation</i> dengan face-centered central composite design (FCCCD)	92
Tabel 4.10.	Faktor pada desain eksperimen pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar menggunakan metode <i>solvent-free microwave extraction</i> dengan face-centered central composite design (FCCCD)	95
Tabel 4.11.	Hasil dan desain eksperimen pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar menggunakan metode <i>solvent-free microwave extraction</i> dengan face-centered central composite design (FCCCD)	96
Tabel 4.12.	Analisis ANOVA pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar menggunakan metode <i>solvent-free microwave extraction</i> dengan face-centered central composite design (FCCCD)	97
Tabel 4.13.	Faktor pada desain eksperimen pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam kering menggunakan metode <i>solvent-free microwave extraction</i> dengan face-centered central composite design (FCCCD)	99
Tabel 4.14.	Hasil dan desain eksperimen pada ekstraksi minyak nilam	

	dari daun nilam kering menggunakan metode <i>solvent-free microwave extraction</i> dengan face-centered central composite design (FCCCD)	100
Tabel 4.15.	Analisis ANOVA pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam kering menggunakan metode <i>solvent-free microwave extraction</i> dengan face-centered central composite design (FCCCD)	101
Tabel 4.16.	Hasil analisa properti fisik minyak nilam	105
Tabel 4.17.	Komponen-komponen yang terkandung dalam minyak nilam yang diekstraksi dengan metode <i>microwave air-hydrodistillation</i> , rasio F/S 0,3 g/mL, daun cacah, daya 600 W, dan laju aliran udara 0,5 L/min berdasarkan analisa GC-MS	108
Tabel 4.18.	Komponen-komponen yang terkandung dalam minyak nilam yang diekstraksi dengan metode <i>solvent-free microwave extraction</i> , rasio F/D 0,06 g/mL, daun utuh, daya 300 W untuk bahan segar dan daya 450 W untuk bahan kering berdasarkan analisa GC-MS	109
Tabel 4.19.	Komponen-komponen yang terkandung dalam minyak gaharu yang diekstraksi dengan metode <i>microwave air-hydrodistillation</i> dan <i>solvent-free microwave extraction</i> (rasio F/S 0,75 g/mL, rasio F/D 0,15 g/mL, daya 600 W, dan laju aliran udara 1 L/min) berdasarkan analisa GC-MS	111

DAFTAR SINGKATAN

ASE	: <i>Assisted Solvent Extraction</i>
CP	: <i>Cold Pressing</i>
DMF	: dimethylformamide
DMSO	: dimethyl sulfoxide
FCCCD	: <i>Face-Centered Central Composite Design</i>
F/D	: <i>Feed to distiller ratio</i>
F/S	: <i>Feed to solvent ratio</i>
GC-MS	: <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i>
HD	: <i>Hydrodistillation</i>
MAE	: <i>Microwave Assisted Extraction</i>
MAHD	: <i>Microwave Air-Hydrodistillation</i>
MHD	: <i>Microwave Hydrodistillation</i>
RSM	: <i>Response Surface Methodology</i>
SEM	: <i>Scanning Electron Microscopy</i>
SFME	: <i>Solvent-Free Microwave Extraction</i>

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia mempunyai sumber daya alam hayati yang sangat banyak dan beragam. Di antara keanekaragaman hayati yang sangat banyak dan beragam itu terdapat tanaman penghasil minyak atsiri yang sampai sekarang belum dapat dimanfaatkan secara maksimal. Indonesia menghasilkan 40-50 jenis tanaman penghasil minyak atsiri yang diperdagangkan di dunia dan baru sebagian dari jenis minyak atsiri tersebut yang memasuki pasar dunia, diantaranya nilam, sereh wangi, cengkeh, melati, kenanga, kayu putih, cendana, dan akar wangi.

Minyak atsiri lazim juga dikenal dengan nama minyak mudah menguap atau minyak terbang. Minyak atsiri merupakan senyawa yang pada umumnya berwujud cairan, yang diperoleh dari bagian tanaman seperti akar, kulit, batang, daun, buah, biji maupun dari bunga dengan cara penyulingan dengan uap. Meskipun pada kenyataannya untuk memperoleh minyak atsiri dapat juga diperoleh dengan cara lain seperti ekstraksi menggunakan pelarut organik maupun dipres atau dikempa dan secara enzimatik (Sastrohamidjojo, 2004).

Minyak atsiri merupakan salah satu komoditas ekspor agroindustri potensial yang dapat menjadi andalan bagi Indonesia untuk mendapatkan devisa. Data statistik ekspor-impor dunia menunjukkan bahwa rata-rata pertumbuhan konsumsi minyak atsiri dan turunannya sebesar 5-10% pertahun. Kenaikan tersebut terutama didorong oleh perkembangan kebutuhan untuk industri *food flavouring*, industri komestik, dan wewangian. Minyak atsiri yang banyak disuling di Indonesia antara lain minyak nilam, cengkeh, pala, sereh wangi, akar wangi, minyak kayu putih, dan lain-lain. Sementara masih ada minyak atsiri yang potensial untuk dikembangkan diantaranya kemangi, gandapura, kapulaga, kayu manis, dan lain-lain (Dewan Atsiri Indonesia, 2010).

Komoditas ini masih tetap eksis walaupun selalu terjadi fluktuasi harga. Dengan begitu, petani maupun produsen masih tetap diuntungkan. Apalagi saat ini dikembangkan jenis-jenis minyak atsiri baru yang harganya lumayan tinggi.

Untuk minyak dari bunga-bunga, harga minyak dapat mencapai puluhan juta rupiah. Sementara minyak dari tumbuhan terna (tumbuhan yang batangnya lunak karena tidak membentuk kayu), baik daun, ranting, dan biji dihargai ratusan ribu rupiah per kilogramnya (Armando, 2009).

Tanaman yang menghasilkan minyak atsiri diperkirakan berjumlah 150-200 species tanaman, yang termasuk dalam famili *Pinaceae*, *Labiatae*, *Compositae*, *Lauraceae*, *Myrtaceae* dan *Umbelliferaceae* (Hernani dan Marwati, 2006). Indonesia termasuk salah satu negara penghasil utama minyak atsiri di dunia. Terdapat kurang lebih 45 jenis tanaman penghasil minyak atsiri tumbuh di Indonesia, namun baru kira-kira 15 jenis yang sudah menjadi komoditi ekspor, yaitu minyak sereh wangi (*Citronella oil*), minyak akar wangi (*Vetiver oil*), minyak nilam (*Patchouli oil*), minyak kenanga (*Cananga oil*), minyak cendana (*Sandalwood oil*), minyak pala dan fuli (*Nutmeg and Mace oil*), minyak daun, gagang dan bunga cengkeh (*Clove leaf, stem, bud oil*), minyak lawang (*Cullilawan oil*), minyak massoi (*Massoi oil*), minyak pangi (*Sassafras oil*), minyak jahe (*Ginger oil*), minyak lada (*Black pepper oil*), minyak gaharu (*Agarwood oil*), minyak terpentin (*Turpentine oil*), minyak kayu putih (*Cajeput oil*) minyak daun jeruk purut (*Kafir lime oil*), sementara di pasar Internasional terdapat 90 jenis minyak atsiri yang diperdagangkan (Ma'mun, 2006).

Minyak atsiri sendiri dapat digolongkan ke dalam minyak ringan dan minyak berat. Dimana pada penelitian ini akan menggunakan bahan minyak atsiri yang tergolong minyak berat, yaitu nilam dan gaharu. Tanaman nilam (*Pogostemon cablin* Benth) merupakan salah satu tanaman penghasil minyak atsiri yang penting, menyumbang devisa lebih dari 50% dari total ekspor minyak atsiri Indonesia. Hampir seluruh pertanaman nilam di Indonesia merupakan pertanaman rakyat yang melibatkan sekitar 36.461 kepala keluarga petani. Di Indonesia daerah sentra produksi nilam terdapat di Bengkulu, Sumatera Barat, Sumatera Utara dan Nanggroe Aceh Darussalam, kemudian berkembang di provinsi Lampung, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur dan daerah lainnya. Luas areal pertanaman nilam pada tahun 2002 sekitar 21.602 ha, namun produktivitas minyaknya masih rendah rata-rata 97,53 kg/ha/tahun. Meskipun demikian Indonesia merupakan pemasok minyak nilam terbesar di pasaran dunia

dengan kontribusi sekitar 90%. Selain itu kompetitor Indonesia sebagai pemasok minyak nilam di pasaran dunia adalah Malaysia, Filipina, India, dan China (Ministry of Trade of the Republic of Indonesia, 2011).

Dalam hal teknologi penyulingan dapat dilihat pada penyulingan minyak nilam (*Patchouli oil*) yang dilakukan oleh kelompok tani nilam di Kuningan, Jawa Barat, yang telah lama memakai sistem penyulingan uap (*steam distillation*) yang memiliki kapasitas 100 kg per ketel. Hasil dari penyulingan ini adalah 2,2 kg-2,8 kg minyak nilam untuk sekali penyulingan selama delapan jam. Untuk sekali penyulingan minyak nilam (*Patchouli oil*) dengan metode penyulingan uap (*steam distillation*) ini menghabiskan bahan bakar minyak tanah 40 liter (Plantus, 2008).

Sama halnya dengan minyak nilam, minyak gaharu juga merupakan minyak berat yang masih menarik untuk terus dikembangkan. Hal ini didukung dari harga jual minyak gaharu sangat tinggi yaitu mencapai 1500 USD per tola (11,7 gram) minyak dengan kualitas tinggi (Wong *et al.*, 2015) dengan harga kayunya untuk kualitas rendah 19 USD per kg dan untuk kualitas tinggi hingga mencapai 100.000 USD per kg (Pravina, 2008; Naef, 2011). Minyak gaharu juga merupakan salah satu komoditas yang memberikan peranan penting untuk pendapatan devisa negara dari hasil ekspor minyak atsiri secara keseluruhan. Namun, ekstraksi minyak gaharu yang telah dilakukan selama ini menggunakan metode konvensional yang hasilnya kurang maksimal. Dimana berdasarkan penelitian terdahulu, dengan menggunakan 200 gram serbuk kayu gaharu dan 2000 mL air diperoleh *yield* minyak sebesar 0,18% menggunakan metode *hydrodistillation* selama 72 jam (Sulaiman *et al.*, 2015).

Adanya prospek minyak atsiri yang relatif bagus di Indonesia tersebut seharusnya juga diikuti dengan penguasaan teknologi penyulingan dan usaha budidaya tanaman penghasil minyak atsiri, agar bisnis minyak atsiri mampu berkembang dalam hal kualitas maupun kuantitasnya guna mencukupi kebutuhan dunia dan mampu meningkatkan daya saing dengan pemasok dari negara lainnya. Hal ini dapat dilihat dari proses pengambilan minyak nilam (*Patchouli oil*) dan minyak gaharu (*Agarwood oil*) yang pada umumnya dilakukan dengan cara penyulingan air (*hydrodistillation*), penyulingan uap dan air (*steam-hydro distillation*), dan penyulingan uap langsung (*steam distillation*).

Lamanya waktu dan masih kecilnya yield yang didapat dari metode konvensional tersebut, maka perlu dipertimbangkan untuk menggunakan “*green technique*” baru dalam ekstraksi minyak atsiri dengan penggunaan energi, pelarut, dan waktu yang minimum. Sampai saat ini telah dikembangkan berbagai metode baru untuk mengekstrak minyak atsiri, salah satunya adalah dengan menggunakan *microwave* (*microwave-assisted extraction*).

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa ekstraksi dengan alat *microwave* merupakan alternatif yang bisa terus dikembangkan daripada metode konvensional, karena tingginya kadar kemurnian produk, minimnya pemakaian *solvent*, dan waktu proses yang singkat (Ferhat *et al.*, 2006). Beberapa ekstraksi dengan menggunakan *microwave* yang telah berhasil dikembangkan adalah metode *microwave hydrodistillation* yang merupakan kombinasi antara *hydrodistillation* dengan pemanasan menggunakan *microwave* (Stashenko *et al.*, 2004) dan metode *microwave steam distillation* yang merupakan kombinasi antara *steam distillation* dengan pemanasan menggunakan *microwave* (Chemat, 2008).

Untuk mengoptimalkan proses ekstraksi minyak atsiri, maka pada penelitian ini akan digunakan pengembangan dari metode *microwave hydrodistillation* yaitu metode *microwave air-hydrodistillation*. Dimana pada metode *microwave air-hydrodistillation* ini secara umum terdiri dari tiga bagian utama yaitu kompresor yang berfungsi untuk menginjeksikan udara ke dalam *distiller* yang berisi matriks (bagian tanaman yang akan diambil minyak atsirinya) dan pelarut, *microwave* yang berfungsi sebagai pemanas, dan kondensor yang berfungsi sebagai sistem pendingin (Kusuma dan Mahfud, 2016).

Adanya penambahan aliran udara pada metode *microwave air-hydrodistillation* diharapkan dapat meningkatkan *yield* dan kualitas dari minyak atsiri (minyak nilam dan minyak gaharu) yang diperoleh. Hal ini mengingat berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Kusuma dan Mahfud (2016) menunjukkan bahwa adanya penambahan aliran udara berperan dalam membantu mengoptimalkan proses pengadukan pada saat ekstraksi dan membawa komponen minyak penting yang berada di dalam membran sel atau jaringan tanaman yang sulit terdifusi keluar. Hal ini disebabkan karena minyak nilam dan minyak gaharu termasuk minyak berat yang dimana diduga terdapat beberapa komponen fraksi

berat yang sulit terekstrak tanpa adanya penambahan aliran udara. Sehingga pada penelitian ini akan dilakukan ekstraksi minyak atsiri dari daun nilam (*Pogostemon cablin* Benth) dan gaharu (*Aquilaria malaccensis*) dengan menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation*.

Selain menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation*, pada penelitian ini ekstraksi minyak atsiri dari daun nilam (*Pogostemon cablin* Benth) dan gaharu (*Aquilaria malaccensis*) juga dilakukan dengan menggunakan metode *solvent-free microwave extraction*. Pemilihan penggunaan metode *solvent-free microwave extraction* ini disebabkan karena ekstraksi minyak atsiri dengan metode *solvent-free microwave extraction* tidak memerlukan penambahan pelarut seperti halnya ekstraksi yang dilakukan dengan menggunakan metode *microwave hydrodistillation* dan *microwave air-hydrodistillation*. Penelitian tentang penggunaan metode *solvent-free microwave extraction* saat ini juga sedang banyak dikembangkan. Hal ini dapat dilihat dari beberapa penelitian tentang ekstraksi minyak atsiri dengan menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* telah dilakukan oleh Filly *et al.* (2014) dan Golmakani dan Moayyedi (2015). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Filly *et al.* (2014) dan Golmakani dan Moayyedi (2015) tersebut, secara umum dapat dikatakan bahwa ekstraksi minyak atsiri dengan menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* sedikit lebih efektif dan efisien apabila dibandingkan dengan metode *microwave hydrodistillation* dan jauh lebih efektif dan efisien apabila dibandingkan dengan metode konvensional *hydrodistillation*. Kelebihan ini juga didukung dari data penelitian sebelumnya, yaitu pada ekstraksi minyak kemangi (*Ocimum basilicum* L.) dengan bahan kemangi segar sebanyak 175 gram dengan pelarut aquades 400 mL menggunakan metode *microwave hydrodistillation* dalam waktu tiga jam dan daya *microwave* 380 W diperoleh *yield* minyak sebanyak 0,668%. Sedangkan dengan metode *solvent-free microwave extraction* untuk bahan kemangi segar sebanyak 250 gram dalam waktu satu jam dan daya yang sama diperoleh *yield* sebanyak 2,281%. (Putri dan Dewi, 2016)

Atas dasar di atas, maka pada penelitian ini akan dilakukan ekstraksi minyak atsiri dari daun nilam (*Pogostemon cablin* Benth) dan gaharu (*Aquilaria malaccensis*) dengan dua metode yaitu *microwave air-hydrodistillation*

dan *solvent-free microwave extraction*. Selain itu pada penelitian ini juga akan dipelajari beberapa faktor yang berpengaruh terhadap dua metode tersebut seperti daya *microwave*, rasio antara bahan baku yang akan diekstrak dengan pelarut atau *distiller* yang digunakan, kondisi bahan baku yang akan diekstrak (segar dan kering), ukuran dari bahan baku yang akan diekstrak, penambahan laju aliran udara, serta waktu perendaman pada ekstraksi minyak gaharu.

1.2 Rumusan Masalah

Penyulingan minyak nilam (*Patchouli oil*) dan minyak gaharu (*Agarwood oil*) di Indonesia saat ini dilakukan dengan menggunakan metode konvensional. Dimana penyulingan dengan menggunakan metode konvensional ini dalam prosesnya memerlukan energi yang besar, pelarut dalam jumlah yang banyak, dan waktu yang cukup lama. Oleh karena itu perlu dipertimbangkan untuk menggunakan teknologi baru dalam ekstraksi minyak nilam dan gaharu dengan penggunaan energi, pelarut, dan waktu yang minimum. Dimana pada penelitian ini akan digunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* untuk ekstraksi nilam dan gaharu yang selanjutnya akan dibandingkan hasil yang diperoleh dari kedua metode tersebut berupa *yield* dan kualitas minyak nilam (*Patchouli oil*) dan minyak gaharu (*Agarwood oil*) dan juga pengaruh dari ada tidaknya penambahan aliran udara pada metode *microwave air-hydrodistillation* terhadap *yield* dan *recovery* minyak atsiri (minyak nilam dan minyak gaharu) yang dihasilkan. Selain itu pada penelitian ini juga akan dipelajari beberapa faktor yang berpengaruh terhadap dua metode tersebut seperti: daya *microwave*, rasio antara bahan baku yang akan diekstrak dengan pelarut atau *distiller* yang digunakan, kondisi bahan baku yang akan diekstrak (segar dan kering), serta ukuran dari bahan baku yang akan diekstrak. Hal inilah yang selanjutnya dapat digunakan sebagai pertimbangan untuk menentukan metode yang tepat dan kondisi operasi yang optimal untuk ekstraksi minyak nilam (*Patchouli oil*) dan minyak gaharu (*Agarwood oil*).

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Membandingkan proses ekstraksi minyak nilam (*Patchouli oil*) dan minyak gaharu (*Agarwood oil*) dengan menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction*.
2. Menentukan kondisi operasi yang optimal (daya *microwave*, rasio antara bahan baku yang akan diekstrak dengan pelarut atau *distiller* yang digunakan, kondisi bahan baku yang akan diekstrak (segar dan kering), ukuran dari bahan baku yang akan diekstrak, laju aliran udara, dan waktu perendaman) dari ekstraksi minyak nilam (*Patchouli oil*) dan minyak gaharu (*Agarwood oil*) dengan menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction*.
3. Membandingkan pengaruh dari ada tidaknya penambahan aliran udara pada metode *microwave air-hydrodistillation* terhadap *yield* dan *recovery* minyak atsiri (minyak nilam dan minyak gaharu) yang dihasilkan.
4. Menentukan model kinetika untuk ekstraksi minyak nilam (*Patchouli oil*) dengan menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction*.
5. Membandingkan kualitas minyak atsiri dari daun nilam (*Pogostemon cablin* Benth) dan gaharu (*Aquilaria malaccensis*) yang diekstraksi dengan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction*.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, antara lain :

1. Memberikan informasi mengenai proses ekstraksi minyak nilam (*Patchouli oil*) dan minyak gaharu (*Agarwood oil*) dengan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* yang tepat dan efektif dalam mendapatkan *yield* yang optimal.
2. Sebagai bahan referensi bagi para penyuling minyak nilam (*Patchouli oil*) dan minyak gaharu (*Agarwood oil*) agar dapat menghasilkan minyak atsiri yang sesuai dengan standar yang ada.

3. Sebagai bahan referensi dan informasi bagi penulis selanjutnya yang tertarik untuk mengkaji dan meneliti tentang minyak nilam (*Patchouli oil*) dan minyak gaharu (*Agarwood oil*).

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Umum Nilam (*Pogostemon cablin* Benth)

2.1.1 Klasifikasi

Divisi	: Spermatophyta
Sub Divisi	: Angiospermae
Kelas	: Dicotyledonae
Bangsa	: Solonales
Suku	: Lamiaceae
Marga	: Pogostemon
Jenis	: <i>Pogostemon cablin</i> Benth



Gambar 2.1. Tanaman nilam (*Pogostemon cablin* Benth)

2.1.2 Deskripsi Tanaman

a. Sinonim

Pogostemon javanicus Back. ex. Adelb, *Pogostemon hortensis* Backer, *P. patchouli* Pellet, dan *P. heyneanus* Benth.

b. Nama Lokal

Ada beberapa nama daerah di Indonesia untuk tanaman ini, yaitu :
nilam (Sumatera) dan dilem (Jawa).

c. Morfologi

Pogostemon cablin (Blanco) Benth. merupakan semak, tumbuhan tahunan, dan tingginya 1-2 m. Batangnya berkayu, beralur, berambut,

beruas-ruas, ketika masih muda warnanya hijau setelah tua warnanya putih kotor. Daun tunggal, helaian daun berbentuk bulat telur sampai jorong memanjang, ujungnya runcing, pangkal tumpul, tepi bergerigi, pertulangan menyirip, permukaan berbulu, panjang sampai 7 cm, lebar sampai 6 cm, permukaan atas hijau dan permukaan bawah hijau keunguan. Bunga majemuk, berwarna putih, biji kecil dan coklat. Akar tunggang dan berwarna putih kecoklatan.

d. Ekologi dan Penyebaran

Nilam dapat tumbuh pada berbagai jenis tanah (andosol, latosol, regosol, podsolik, dan grumusol) dengan tekstur lempung, liat berpasir dengan drainase yang baik dan pH tanah 5-7. Tanah yang mengandung bahan organik (humus) memberikan hasil yang paling baik. Nilam tumbuh baik pada daerah dengan ketinggian <700 m dpl, karena pada dataran tinggi kadar minyaknya menurun (<2%). Demikian pula pada keadaan teraungi (<50% cahaya), kadar minyaknya akan berkurang. Tanaman nilam membutuhkan curah hujan atau ketersediaan air yang cukup. Curah hujan yang dikehendaki berkisar 2.500-3.500 mm/tahun, dengan temperatur 24-28 °C. Nilam membutuhkan 9-11 bulan basah per tahun.

Penyebaran tanaman nilam di Indonesia terdapat di beberapa daerah, yaitu NAD (Nanggroe Aceh Darussalam), Sumatera Barat, Sumatera Utara, Bengkulu, Jawa Tengah, dan Jawa Barat. Tanaman nilam terdapat juga di Malaysia, Brazil, Cina, dan India.

e. Kegunaan

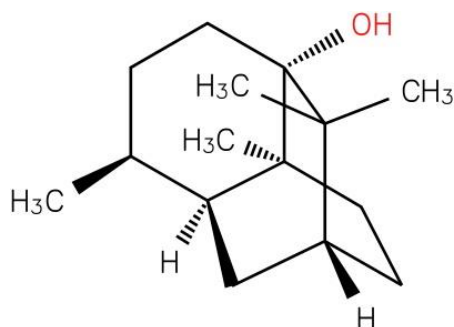
Tanaman nilam telah banyak dimanfaatkan sebagai obat tradisional. Akar dari tanaman ini digunakan untuk pencakar, bagian daun sebagai deodoran, obat luka, bawahir, disentri, stomakikum, penyakit empedu, sielagogum, stemutatori, gangguan haid dan obat peluruh haid. Semua bagian dari tumbuhan ini juga dapat dimanfaatkan sebagai karminatif, obat sakit kepala, emetik, obat diare, dan insektisida (Kasahara dan Hemmi, 1995).

2.2 Minyak Nilam

2.2.1 Karakteristik Minyak Nilam

Minyak nilam merupakan minyak atsiri yang diperoleh dari tanaman nilam (*Pogostemon cablin* Benth.). Minyak nilam terdapat pada bagian batang, akar, dan daun tanaman nilam. Minyak nilam berwarna coklat kehijauan sampai tua kemerahan, aromanya khas, awet, dan mirip kamper. Kandungan minyak nilam adalah patchouli alcohol, patchoulene, azulene, pogostol, norpaculenol, nortetrapaculol, seyselen, kariofilen, dan golongan sesquiterpen lainnya yang belum teridentifikasi. Kandungan utama minyak nilam adalah patchouli alcohol.

Patchouli alcohol ($C_{15}H_{26}O$) merupakan senyawa yang termasuk golongan sesquiterpen. Patchouli alcohol meleleh pada temperatur 39-40°C, mendidih pada temperatur 140°C, tidak larut dalam air, larut dalam alkohol, eter, dan pelarut organik lainnya.



Gambar 2.2. Struktur Patchouli alcohol

Minyak nilam merupakan komoditi ekspor, karenanya memiliki prospek yang cukup cerah dan selalu dibutuhkan secara berkesinambungan dalam industri-industri parfum, wewangian, kosmetik, sabun, farmasi, *flavouring agent*, dan lain-lain. Minyak nilam dalam industri digunakan sebagai fiksasi yang belum dapat digantikan oleh minyak lain sampai dengan saat ini. Minyak nilam terdiri dari komponen-komponen yang bertitik didih tinggi sehingga sangat baik dipakai sebagai zat pengikat dalam industri parfum dan dapat membentuk aroma yang harmonis. Zat pengikat adalah suatu persenyawaan yang mempunyai daya menguap lebih rendah atau titik uapnya lebih tinggi daripada zat pewangi sehingga kecepatan penguapan zat pewangi dapat dikurangi atau dihambat. Penambahan zat pengikat di dalam parfum dimaksudkan untuk mengikat aroma

wangi dan mencegah penguapan zat pewangi yang terlalu cepat sehingga aroma wangi tidak cepat hilang atau lebih tahan lama (Ketaren, 1985).

Minyak nilam selain sebagai bahan baku dalam industri parfum, diketahui juga mempunyai aktivitas biologi tertentu. Senyawa Patchoulol yang merupakan komponen yang paling banyak ditemukan dalam minyak nilam bersama dengan α -patchoulene diketahui memiliki potensi sebagai aktivitas antifungal (Sonwa, 2001). Senyawa α -bulnesene diketahui mempunyai aktivitas anti inflamasi terhadap PAF (*Platelet Activating Factor*) sebuah phosfolipid mediator yang dihasilkan berbagai sel pada saat terkena penyakit alergi, inflamasi, asma, dan lain-lain (Tsai, 2005).

2.2.2 Standar Mutu Minyak Nilam

Parameter dalam menentukan kualitas minyak nilam dapat dilihat dari kadar patchouli alcohol yang terdapat dalam minyak nilam. Hal ini yang kemudian mengakibatkan mengapa patchouli alkcohol disebut sebagai penciri utama dalam menentukan mutu minyak nilam (Santoso, 1990). Berdasarkan rancangan SNI tahun 2006 kadar minimal patchouli alcohol dalam minyak nilam adalah 30%. Sedangkan berdasarkan rancangan ISO tahun 2002 kadar patchouli alcohol yang harus terdapat dalam minyak nilam adalah 27-35%. Standar mutu minyak nilam berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 06-2385-2006) dan *International Standard* (ISO) 3757 : 2002(E) dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Standar mutu minyak nilam menurut SNI 06-2385-2006 dan ISO 3757 : 2002(E)

Karakteristik	Persyaratan	
	SNI 06-2385-2006	ISO 3757 : 2002(E)
Warna	Kuning muda sampai cokelat kemerahan	Kuning sampai cokelat kemerahan
Bobot jenis	0,950-0,975 (25°C/25°C)	0,952-0,975 (20°C/20°C)
Indeks bias 20°C	1,5070-1,5150	1,5050-1,5150
Putaran optik	(-48°)-(-65°)	(-40°)-(-60°)
Kelarutan (dalam etanol)	Dalam etanol 90% larutan jernih, perbandingan 1:10	Dalam etanol 90% larutan jernih, perbandingan 1:10
Bilangan asam	Maksimal 8	Maksimal 4
Bilangan ester	Maksimal 20	Maksimal 10

Karakteristik	Persyaratan	
	SNI 06-2385-2006	ISO 3757 : 2002(E)
Kadar patchouli alcohol	Minimal 30%	27-35%

2.3 Tinjauan Umum Gaharu (*Aquilaria malaccensis*)

2.3.1 Klasifikasi

Kingdom : Plantae
 Divisi : Termatophyta
 Kelas : Dikotiledonae
 Bangsa : Myrtales
 Suku : Thymeleaceae
 Marga : *Aquilaria*
 Jenis : *Aquilaria malaccensis*



Gambar 2.3. Tanaman gaharu (*Aquilaria malaccensis*): (A) Bunga; (B) Buah; (C) Pohon; (D) Daun; (E) Pengelupasan kayu untuk pengambilan resin; (F) Potongan kayu dari pengambilan resin (Photo: P. Abbas, 2010, Kajang, Selangor, Malaysia)

2.3.2 Deskripsi Tanaman

a. Sinonim

Aquilaria beccariana, *A. Microcarpa*, *A. filaria*, *A. birta*, *A. agalloccba* Roxb, dan *A. macrophyllum*.

b. Nama Lokal

Ada beberapa nama daerah di Indonesia untuk tanaman ini, yaitu Gaharu, Karas, Alim, Garu, dan lain-lain.

c. Distribusi/Penyebaran dan Habitat

Daerah penyebaran gaharu di Indonesia antara lain, kawasan hutan Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, Maluku, Papua, Nusa Tenggara, dan Jawa. Secara ekologisnya, tanaman gaharu di Indonesia tumbuh pada daerah dengan ketinggian 0–2400 mdpl. Umumnya, gaharu yang berkualitas baik tumbuh pada daerah yang beriklim panas, dengan suhu 28°–34°C, kelembaban 60–80%, dan curah hujan 1000–2000 mm/tahun.

Dari beberapa hasil uji coba serta informasi dan pengalaman di lapangan menunjukkan bahwa gaharu tidak memerlukan persyaratan khusus untuk membatasi suatu upaya pengembangannya. Oleh karena itu, secara teknis pengembangan gaharu dapat dilakukan pada berbagai lahan dengan variasi kondisi lingkungan dan iklim. Namun, pertumbuhan optimal akan diperoleh pada kondisi lahan yang struktur tanahnya lempung, dan liat berpasir, serta solum yang dalam (Sumarna, 2007).

d. Karakteristik

A. malaccensis memiliki morfologi atau ciri-ciri fisiologi yang sangat unik, dimana tinggi pohon ini mencapai 40 meter dengan diameter 60 cm. Pohon ini memiliki permukaan batang licin, warna keputihan, kadang beralur dan kayunya agak keras. Tanaman ini memiliki bentuk daun lonjong agak memanjang, panjang 6-8 cm, lebar 3-4 cm, bagian ujung meruncing. Daun yang kering berwarna abu-abu kehijauan, agak bergelombang, melengkung, permukaan daun atas-bawah licin dan mengkilap, tulang daun sekunder 12-16 pasang. Tanaman ini memiliki bunga yang terdapat diujung ranting, ketiak daun, kadang-kadang di bawah ketiak daun. Berbentuk lancip, panjang sampai 5 mm. Dan buahnya

berbentuk bulat telur, tertutup rapat oleh rambut-rambut yang berwarna merah. Biasanya memiliki panjang hingga 4 cm lebar 2,5 cm (Tarigan, 2004).

e. Kegunaan

Tanaman Gaharu (*Aquilaria malaccensis*) digunakan sebagai bahan parfum, obat-obatan dan bahan kemenyan. Harganya persatuan berat adalah sangat tinggi dan bervariasi tergantung dari kadar resin dan aroma yang dikeluarkan. Kayu gaharu juga berfungsi sebagai bahan baku dupa (makmul) dan hio dan bisa dijadikan sebagai bahan untuk aroma terapi. Selain itu kayu gaharu juga dapat digunakan sebagai bahan baku obat-obatan dan minyak wangi/parfum, bahan baku pembuatan minyak gaharu, sabun, shampo yang harum semerbak dan berbagai produk kecantikan, serta bahan baku kerajinan dan ukiran.

2.4 Minyak Gaharu (*Agarwood Oil*)

Minyak gaharu merupakan minyak yang diekstrak dari kayu gaharu spesies *Aquilaria* dan merupakan suku *Thymelaeaceae*. Minyak gaharu dimanfaatkan sebagai dupa untuk acara keagamaan, parfum, dan bahan campuran obat tradisional (Naef, 2011). Minyak gaharu diperdagangkan di seluruh dunia dan mendapatkan permintaan pasar yang tinggi terutama dari Uni Emirat Arab, Arab Saudi, Cina dan Jepang. Di Timur Tengah, minyak gaharu dipakai sebagai simbol kekayaan dan banyak digunakan pada upacara pernikahan (Sidik, 2008; Nor Azah *et al.*, 2009).

Minyak gaharu diperdagangkan sesuai dengan kualitasnya. Kelas minyak juga diperdagangkan berdasarkan sifat fisiknya seperti warna dan bau. Biasanya, warna gelap dan bau tahan lama diklasifikasikan sebagai kualitas tinggi dan dijual dengan harga yang paling tinggi (Nor Azah *et al.*, 2008). Harga untuk minyak gaharu kualitas tinggi biasanya antara 126 USD hingga 633 USD per tola (12 ml) (Nor Azah *et al.*, 2009). Sedangkan harga kayunya untuk kualitas rendah 19 USD per kg dan untuk kualitas tinggi hingga mencapai 100.000 USD per kg (Pravina, 2008; Naef, 2011).

Banyak penelitian telah dilakukan untuk menganalisis kualitas minyak gaharu. Peneliti dari Jepang telah mengklasifikasikan Kanankoh sebagai kualitas tertinggi di antara berbagai jenis minyak gaharu dan Jinkoh sebagai kualitas rendah. Hubungan antara kualitas tinggi dan rendah dari minyak gaharu telah banyak diteliti dengan membandingkan komposisi kimianya. Salah satu penelitian menemukan bahwa berdasarkan analisa GC-MS, persentase area senyawa yang sama dalam minyak kualitas tinggi lebih besar dibandingkan minyak kualitas rendah (Ishihara, 1993).

Berdasarkan penelitian dan literatur, terdapat dua cara dalam penggolongan minyak gaharu, yaitu ada beberapa negara yang menggunakan istilah kualitas tinggi dan rendah, dan juga ada beberapa negara yang menggunakan istilah kelas A, B, C, dan D. Dimana setiap penggolongan ini didasarkan pada sifat fisik minyak gaharu, seperti warna, bau, dan persepsi konsumen (Sidik, 2008; Nor Azah *et al.*, 2009; Naef, 2011). Secara teknis penggolongan minyak gaharu dilakukan menggunakan saraf indra dari seseorang yang telah terlatih yang didasarkan pada penampilan fisik minyak, seperti warna, bau, fiksatif tinggi, serta persepsi konsumen. Namun metode ini memiliki kelemahan yaitu jika sampel minyak terlalu banyak maka indra akan susah membedakan golongan minyak yang satu dengan yang lainnya. Penggunaan indra manusia dalam penggolongan minyak gaharu ini juga memiliki kelemahan dalam hal subjektifitas, produktifitas yang rendah, konsumsi waktu dan pembiayaan yang lebih tinggi. Hal inilah yang membatasi dalam peningkatan perdagangan minyak gaharu dan pemasarannya. Oleh karena itu, beberapa penelitian menyarankan penggolongan minyak gaharu berdasarkan senyawa kimia yang terkandung di dalamnya sehingga adanya standar umum minyak gaharu yang diakui dunia. Analisa berdasarkan kandungan senyawa kimia ini digunakan untuk mengklasifikasikan minyak gaharu dimana hasilnya dapat diukur dengan akurat (Pravina, 2008). Namun, hingga saat ini belum terdapat standar resmi untuk komposisi senyawa kimia yang terkandung dalam minyak gaharu tersebut, dimana berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya memperoleh hasil senyawa yang berbeda-beda. Berikut ini terdapat hasil analisa komposisi

senyawa kimia minyak gaharu dari penelitian-penelitian terdahulu menggunakan analisa GC-MS (Gas Chromatography-Mass Spectrometry).

Tabel 2.2. Komposisi senyawa yang terdapat pada minyak gaharu (*Aquilaria crassna*) berdasarkan analisa GC-MS (Dahham, S. S. *et al.*, 2015)

Komponen	% Area
Azulene	3.925
β -Caryophyllene	8.111
Naphtalene	2.694
α -Caryophyllene	4.755
Caryophyllene Oxide	1.72
2-Naphthalenemethanol	6.193
2,5-Pyrrolidinedione	1.866
Cyclohexanone	1.377
Isobornyl propionate	1.924
9-H-Cycloisolongifolene	1.685
Cyclodecene	2.583
1-Phenanthrenecarboxylic acid	7.103
Benzenedicarboxylic acid	4.642

Tabel 2.3. Komposisi senyawa yang terdapat pada minyak gaharu (*Aquilaria malaccensis*) berdasarkan analisa GC-MS (Ahmaed, D. T. *et al.*, 2017)

Komponen	% Area
toluene	0.1896
furfural	0.0088
o xylene	0.0153
benzaldehyde	0.1385
p methylanisol	0.2498
salicylaldehyde	0.1540
2 butanone 4 phenyl	0.0070
benzo propenoic acid methyl ester	0.0040
p vinylguaiacol	0.2090
2,6 dimethoxyphenol	0.1140
vanillin	0.0130
β patchoulene	0.5620
longifolen	0.0720
β elemen	0.0130
α gurjunene	0.8600
α cyperene	0.112

Komponen	% Area
β -caryophyllene	0.139
γ maaline	0.247
selina 4(14) 7(11)diene	0.047
α guaiene	1.086
aromadendrene	1.49
alloAromadendrane	0.179
4 epi cis dihydro agarofuran	1.6
γ gurjunene	1.479
β selinene	1.069
valenacene	0.023
dihydro β agarofuran	2.072
α elemen	0.281
α muurolene	0.038
γ selinene	2.35
γ guainene	2.358
α bulnesene	1.023
guaiol	0.131
kessane	40.79
hedycaryol	1.474
elemol	1.39
α eudesmol	0.09
10 epi γ eudesmol	0.108
agarospirol	0.245

2.5 Proses Pengambilan Minyak Atsiri

2.5.1 Ekstraksi

Ekstraksi adalah suatu proses pemisahan dari bahan padat maupun cair dengan bantuan pelarut. Pelarut yang digunakan harus dapat mengekstrak substansi yang diinginkan tanpa melarutkan material lainnya.

Ekstraksi padat-cair atau *leaching* adalah transfer difusi komponen terlarut dari padatan *inert* ke dalam pelarutnya. Ekstrak dari bahan padat dapat dilakukan jika bahan yang diinginkan dapat larut dalam pelarut pengestraksi. Ekstraksi tergantung dari beberapa faktor antara lain: ukuran partikel, jenis zat pelarut, temperatur, dan pengadukan.

Ekstraksi termasuk proses pemisahan melalui dasar operasi difusi. Secara difusi, proses pemisahan terjadi karena adanya perpindahan *solute*, sebagai akibat adanya beda konsentrasi diantara dua fasa yang saling kontak. Perbedaan

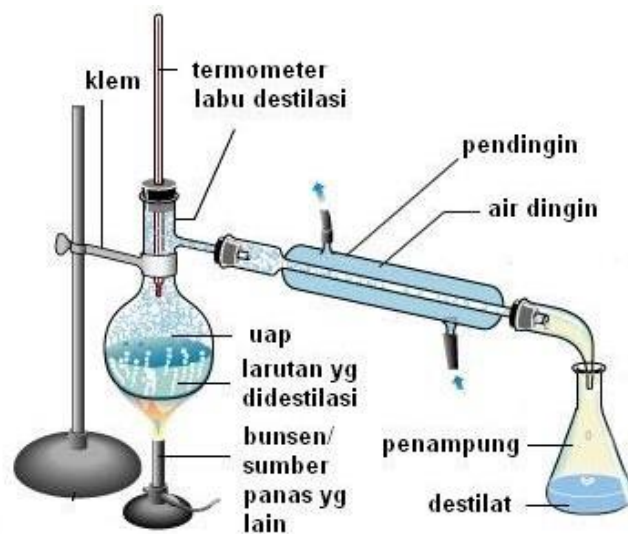
konsentrasi yang ada pada dua fasa disebut gradien konsentrasi. Difusi akan terus terjadi hingga seluruh partikel tersebar luas secara merata atau mencapai keadaan kesetimbangan dimana perpindahan molekul tetap terjadi walaupun tidak ada perbedaan konsentrasi. Pada ekstraksi *solvent* yang digunakan diharapkan dapat melarutkan *solute* dengan cukup baik, memiliki perbedaan titik didih dengan *solute* yang cukup besar, tidak beracun, tidak bereaksi secara kimia dengan *solute* maupun diluen, murah, dan mudah diperoleh (Guenther, 1987).

2.5.2 Metode Distilasi

Distilasi (penyulingan) merupakan suatu proses pemisahan komponen-komponen suatu campuran yang terdiri atas dua jenis campuran atau lebih berdasarkan perbedaan tekanan uap atau berdasarkan perbedaan titik didih dari komponen-komponen senyawa tersebut. Dalam industri minyak atsiri dikenal 3 (tiga) macam tipe distilasi berdasarkan kontak antara uap dan bahan yang akan disuling, yaitu :

1. Distilasi dengan air (*Hydro Distillation*)

Pada metode ini, bahan yang akan disuling akan mengalami kontak langsung dengan air mendidih. Bahan tersebut mengapung di atas air atau terendam secara sempurna tergantung dari bobot jenis dan jumlah bahan yang disuling. Air dipanaskan dengan metode pemanasan yang biasa dilakukan, yaitu dengan panas langsung, mantel uap, pipa uap melingkar tertutup, atau dengan memakai pipa uap melingkar terbuka atau berlubang. Ciri khas dari metode ini ialah kontak langsung antara bahan dengan air mendidih. Beberapa jenis bahan (misalnya bubuk buah badam, bunga mawar, dan *orange blossoms*) harus disuling dengan metode ini, karena bahan harus tercelup dan bergerak bebas dalam air mendidih. Jika disuling dengan metode uap langsung, bahan ini akan merekat dan membentuk gumpalan besar yang kompak, sehingga uap tidak dapat berpenetrasi ke dalam bahan (Guenther, 1987).

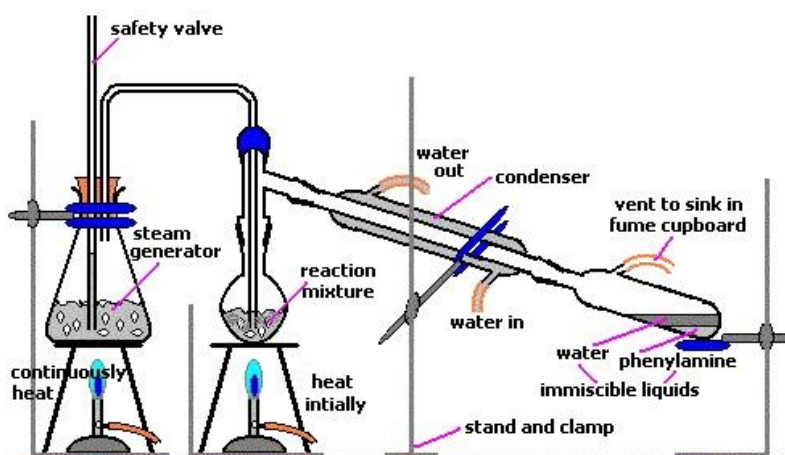


Gambar 2.4. Distilasi dengan air (*hydro distillation*)

2. Distilasi dengan uap dan air (*Steam-Hydro Distillation*)

Pada metode penyulingan ini, bahan olah diletakkan di atas rak-rak atau saringan berlubang. Ketel suling diisi dengan air sampai permukaan air berada tidak jauh di bawah saringan. Air dapat dipanaskan dengan berbagai cara yaitu dengan uap jenuh yang basah dan bertekanan rendah. Ciri khas dari metode ini adalah:

- uap selalu dalam keadaan basah, jenuh, dan tidak terlalu panas.
- bahan yang disuling hanya berhubungan dengan uap dan tidak dengan air panas (Guenther, 1987).

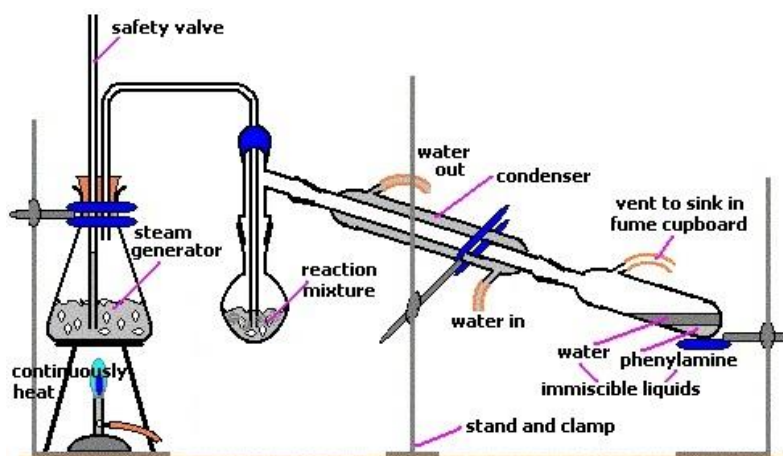


Gambar 2.5. Distilasi dengan uap dan air (*steam-hydro distillation*)

3. Distilasi dengan uap (*Steam Distillation*)

Metode ketiga disebut penyulingan uap atau penyulingan uap langsung dan prinsipnya sama dengan yang telah dibicarakan di atas, kecuali air tidak diisikan dalam ketel. Uap yang digunakan adalah uap jenuh atau uap terlewat panas pada tekanan lebih dari 1 atmosfer. Uap dialirkan melalui pipa uap melingkar yang berpori yang terletak dibawah bahan, dan uap bergerak keatas melalui bahan yang terletak di atas saringan (Guenther, 1987).

Pada dasarnya tidak ada perbedaan yang mendasar dari ketiga proses penyulingan. Tetapi bagaimanapun juga dalam prakteknya hasilnya akan berbeda bahkan kadang-kadang perbedaan ini sangat berarti, karena tergantung pada metode yang dipakai dan reaksi-reaksi kimia yang terjadi selama berlangsungnya penyulingan (Guenther, 1987).



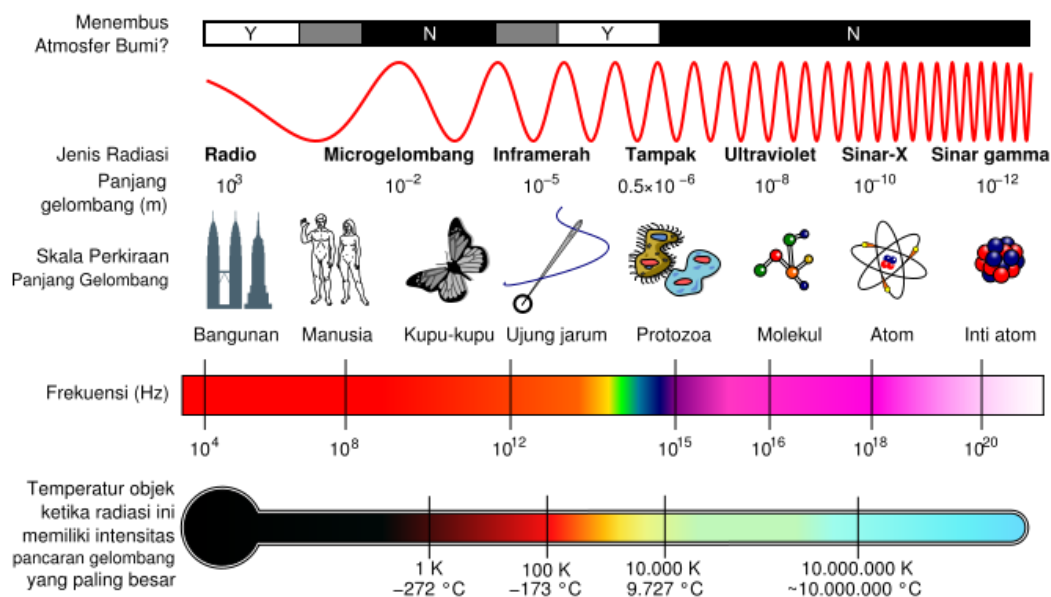
Gambar 2.6. Distilasi dengan uap (*steam distillation*)

2.6 Gelombang Mikro (*Microwave*)

2.6.1 Definisi Gelombang Mikro (*Microwave*)

Gelombang mikro atau *microwave* merupakan salah satu bentuk energi elektromagnetik dengan panjang gelombang antara 0,01 hingga 1 meter. Gelombang mikro terletak di antara gelombang inframerah dan gelombang radio (Gambar 2.8) dan memiliki frekuensi yang berkisar antara 0,3 sampai 30 GHz. Untuk penggunaan dalam laboratorium, frekuensi yang sering dipakai adalah 2,45 GHz. Pada nilai frekuensi ini gelombang mikro memiliki kedalaman penetrasi

yang sesuai untuk kondisi reaksi, terutama dengan adanya molekul polar seperti air.



Gambar 2.7. Sketsa gelombang elektromagnetik

Microwave bekerja dengan melewati radiasi gelombang mikro pada molekul air, lemak, maupun gula yang sering terdapat pada suatu bahan. Molekul-molekul ini akan menyerap energi elektromagnetik tersebut. Proses penyerapan energi ini disebut sebagai pemanasan dielektrik (*dielectric heating*). Molekul-molekul pada suatu bahan bersifat elektrik dipol (*electric dipoles*), artinya molekul tersebut memiliki muatan negatif pada satu sisi dan muatan positif pada sisi yang lain. Akibatnya, dengan kehadiran medan elektrik yang berubah-ubah yang diinduksikan melalui gelombang mikro pada masing-masing sisi akan berputar untuk saling mensejajarkan diri satu sama lain. Pergerakan molekul ini akan menciptakan panas seiring dengan timbulnya gesekan antara molekul yang satu dengan molekul lainnya. Energi panas yang dihasilkan oleh peristiwa inilah yang berfungsi sebagai agen pemanasan bahan di dalam dapur *microwave* (Kingston, 1997).

Dalam *microwave* terdapat sebuah tabung vakum elektronik yang disebut **magnetron** yang menghasilkan pancaran gelombang radio yang sangat pendek (*microwave*). Gelombang tersebut dipancarkan ke sebuah kincir yang terbuat dari logam yang disebut "*stirrer*" atau pengaduk. *Stirrer* ini berputar selama

magnetron memancarkan gelombang radio sehingga gelombang radio tersebut terpancarkan dan terdistribusi secara merata ke dalam ruang masak dari *microwave*. Dalam ruang masak, gelombang *microwave* yang sudah didistribusikan akan mengubah arah molekul-molekul dari suatu bahan (terutama air). Perubahan tersebut terjadi dengan sangat cepat yaitu sekitar 2450 megahertz atau 2,45 milyar siklus perdetik. Perubahan yang sedemikian cepat inilah yang kemudian menimbulkan panas yang akhirnya memasak bahan tersebut. *Microwave* memasak bahan dengan cepat karena panas langsung ditimbulkan di dalam bahan itu sendiri, berbeda dengan oven konvensional yang cuma memanaskan dinding tempat bahan dan udara di sekitarnya.

2.6.2 Mekanisme Pemanasan dengan Gelombang Mikro (*Microwave*)

Proses pemanasan dengan gelombang mikro melibatkan agitasi molekul polar atau ion yang bergetar di bawah pengaruh medan magnet atau listrik yang bergetar. Dalam medan yang bergetar, partikel-partikel berusaha untuk mengorientasi diri agar menjadi sefasa. Gerakan partikel-partikel dibatasi oleh gaya dalam partikel yang menghasilkan gerakan acak hingga akhirnya menghasilkan panas.

Respon berbagai material terhadap radiasi gelombang mikro beragam dan tidak semua material dapat mengalami pemanasan oleh gelombang mikro, hanya material yang mengabsorpsi radiasi gelombang mikro saja yang sesuai dengan *microwave chemistry*. Material ini dikelompokkan berdasarkan mekanisme pemanasannya :

1. Polarisasi dipolar

Polarisasi dipolar merupakan proses menghasilkan panas oleh molekul polar. Gambar 2.10 menunjukkan bahwa molekul polar yang berada dalam medan elektromagnetik yang berosilasi dengan frekuensi yang sesuai berusaha untuk mengikuti medan dan menjajarkan diri agar sefasa dengan medan. Adanya gaya dalam molekul menyebabkan molekul polar tidak dapat mengikuti orientasi medan. Peristiwa tersebut menghasilkan pergerakan partikel acak yang akan menghasilkan panas.

Polarisasi dipolar dapat menghasilkan panas dengan salah satu atau dua mekanisme ini:

- a. interaksi antara molekul pelarut polar, seperti: air, metanol, dan etanol
- b. interaksi antara molekul terlarut polar, seperti: amonia dan asam format

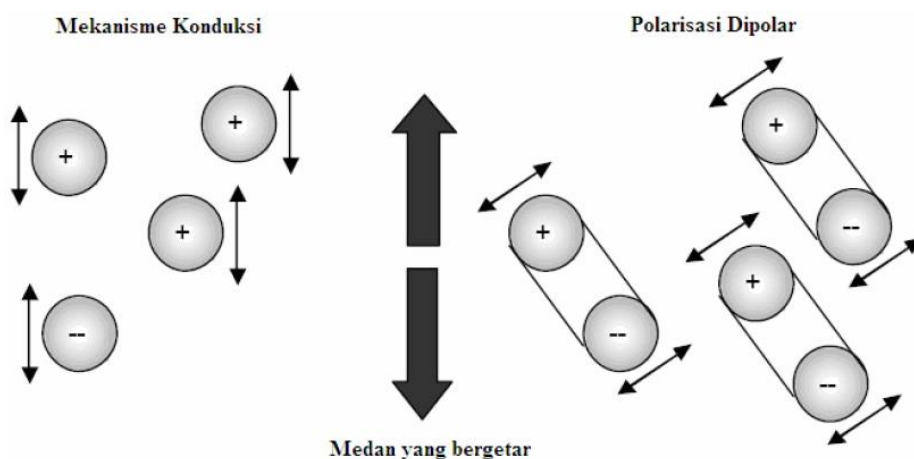
Radiasi gelombang mikro memiliki frekuensi yang sesuai (0,3-30 GHz) untuk mengosilasi partikel polar dan bernilai cukup besar untuk interaksi intermolekul. Di samping itu, energi foton gelombang mikro relatif sangat rendah (0,037 kkal/mol) apabila dibandingkan dengan energi yang dibutuhkan untuk memutuskan ikatan molekul (80-120 kkal/mol). Oleh karena itu, eksitasi molekul dengan gelombang mikro tidak mempengaruhi struktur molekul. Interaksi yang terjadi murni kinetik.

2. Mekanisme konduksi

Panas dihasilkan karena adanya resistansi terhadap arus listrik. Medan elektromagnetik yang bergetar menghasilkan getaran elektron atau ion dalam konduktor dan menghasilkan arus listrik. Arus yang masuk ke dalam tahanan internal akan memanaskan konduktor.

3. Polarisasi antarmuka (*interfacial polarization*)

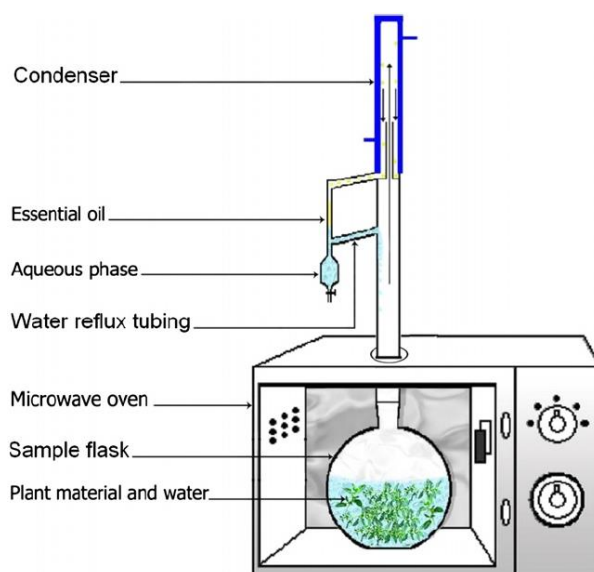
Mekanisme pemanasan jenis ini merupakan gabungan dari mekanisme polarisasi dipolar dan mekanisme konduksi.



Gambar 2.8. Mekanisme pemanasan oleh gelombang mikro (*microwave*) (Taylor *et al.*, 2005)

2.7 Ekstraksi dengan *Microwave* (*Microwave-assisted Extraction*)

Pada ekstraksi dengan *microwave*, bahan yang akan diekstrak ditempatkan di dalam labu yang terbuat dari gelas atau plastik dengan tujuan agar dapat ditembus oleh radiasi *microwave*. Pelarut dan/atau bahan kemudian akan menyerap radiasi tersebut. Adanya molekul polar dalam medan elektromagnetik baik yang terdapat dalam pelarut dan/atau bahan selanjutnya akan berosilasi dengan frekuensi yang sesuai. Hal ini disebabkan karena molekul tersebut berusaha untuk mengikuti medan elektromagnetik dan menyejajarkan diri agar sefasa dengan medan elektromagnetik. Akan tetapi dengan adanya molekul yang tidak mengikuti orientasi medan elektromagnetik menyebabkan partikel bergerak secara acak, dimana hal inilah yang kemudian menyebabkan terjadinya gesekan atau tumbukan antar partikel. Adanya gesekan atau tumbukan antar partikel inilah yang nantinya menimbulkan panas. Peristiwa inilah yang nantinya menyebabkan dinding sel menjadi pecah dan minyak atsiri di dalamnya dapat bebas keluar.



Gambar 2.9. Skema peralatan *microwave-assisted hydrodistillation*

Adanya kandungan air di dalam bahan tanaman dan juga adanya panas akibat menyerap energi elektromagnetik menyebabkan sebagian minyak atsiri akan larut dalam air yang terdapat dalam kelenjar tanaman. Campuran minyak dalam air kemudian akan berdifusi keluar dengan proses osmosis melalui selaput membran hingga nantinya sampai di permukaan bahan untuk selanjutnya akan

menguap. Difusi minyak atsiri dan air yang melalui membran tanaman inilah yang disebut proses hidrodifusi.

2.8 Parameter Minyak Atsiri

Beberapa parameter yang biasanya dijadikan standar untuk mengenali kualitas minyak atsiri meliputi :

1. Berat Jenis

Berat jenis merupakan salah satu kriteria penting dalam menentukan mutu dan kemurnian minyak atsiri. Nilai berat jenis minyak atsiri didefinisikan sebagai perbandingan antara berat minyak dengan berat air pada volume air yang sama dengan volume minyak pada yang sama pula. Berat jenis sering dihubungkan dengan fraksi berat komponen-komponen yang terkandung didalamnya. Semakin besar fraksi berat yang terkandung dalam minyak, maka semakin besar pula nilai densitasnya. Biasanya berat jenis komponen terpen teroksigenasi lebih besar dibandingkan dengan terpen tak teroksigenasi (Sastrohamidjojo, 2004).

2. Kelarutan dalam Alkohol

Telah diketahui bahwa alkohol merupakan gugus OH. Karena alkohol dapat larut dengan minyak atsiri maka pada komposisi minyak atsiri yang dihasilkan tersebut terdapat komponen-komponen terpen teroksigenasi. Hal ini sesuai dengan pernyataan Guenther bahwa kelarutan minyak dalam alkohol ditentukan oleh jenis komponen kimia yang terkandung dalam minyak. Pada umumnya minyak atsiri yang mengandung persenyawaan terpen teroksigenasi lebih mudah larut daripada yang mengandung terpen. Makin tinggi kandungan terpen makin rendah daya larutnya atau makin sukar larut, karena senyawa terpen tak teroksigenasi merupakan senyawa non-polar yang tidak mempunyai gugus fungsional. Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin kecil kelarutan minyak atsiri pada alkohol (biasanya alkohol 90%) maka kualitas minyak atsirinya semakin baik (Sastrohamidjojo, 2004).

2.9 Pemodelan Kinetika pada Proses Ekstraksi

Pada penelitian ini pemodelan kinetika untuk ekstraksi minyak nilam dan minyak gaharu dengan menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* dilakukan menggunakan model orde satu dan orde dua. Dimana nantinya dapat diketahui model kinetika yang sesuai dengan hasil eksperimen untuk ekstraksi minyak nilam dan minyak gaharu dengan menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction*.

2.9.1 Model Kinetika Orde Satu

Persamaan kinetika orde satu menurut Lagergren (Lagergren, 1898; Reddad *et al.*, 2002; Ho, 2004) dapat ditulis dalam bentuk diferensial sebagai berikut:

$$\frac{dC_t}{dt} = k_1(C_s - C_t) \quad (1)$$

dimana k_1 (min^{-1}) adalah konstanta laju ekstraksi untuk orde satu dan t (min) adalah waktu ekstraksi.

Selanjutnya Persamaan (1) diintegrasikan dengan menggunakan kondisi batas $C_t = 0$ pada $t = 0$ dan $C_t = C_t$ pada $t = t$:

$$\ln\left(\frac{C_s}{C_s - C_t}\right) = k_1 t \quad (2)$$

Persamaan (2) yang telah diperoleh tersebut dapat diubah menjadi bentuk linier sebagai berikut:

$$\log(C_s - C_t) = \log(C_s) - \frac{k_1}{2,303} t \quad (3)$$

Kemudian dibuat *plot* antara $\log(C_s - C_t)$ dengan t untuk mendapatkan *slope* dan *intercept* yang nantinya dapat digunakan untuk menentukan nilai konstanta laju ekstraksi untuk orde satu (k_1) dan nilai kapasitas ekstraksi (C_s).

2.9.2 Model Kinetika Orde Dua

Persamaan kinetika orde dua untuk laju ekstraksi menurut Ho *et al.* (2005) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{dC_t}{dt} = k_2(C_S - C_t)^2 \quad (4)$$

dimana k_2 ($L \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$) adalah konstanta laju ekstraksi untuk orde dua.

Dengan melakukan pengelompokan variabel pada Persamaan (4) didapatkan:

$$\frac{dC_t}{(C_S - C_t)^2} = k_2 dt \quad (5)$$

Selanjutnya Persamaan (8) dapat diperoleh dengan cara mengintegrasikan Persamaan (5) menggunakan kondisi batas $C_t = 0$ pada $t = 0$ dan $C_t = C_t$ pada $t = t$ dan dengan melakukan penataan ulang sebagai berikut:

$$\frac{1}{(C_S - C_t)} - \frac{1}{C_S} = k_2 t \quad (6)$$

$$C_t = C_S - \frac{C_S}{1 + C_S k_2 t} \quad (7)$$

$$C_t = \frac{C_S^2 k_2 t}{1 + C_S k_2 t} \quad (8)$$

Persamaan (8) adalah hukum laju ekstraksi terintegrasi untuk orde dua dan dapat diubah lagi menjadi bentuk linier sebagai berikut:

$$\frac{t}{C_t} = \frac{1}{k_2 C_S^2} + \frac{t}{C_S} \quad (9)$$

Laju ekstraksi (C_t/t) dapat diperoleh dari Persamaan (10) sebagai berikut:

$$\frac{C_t}{t} = \frac{1}{(1/k_2 C_S^2) + (t/C_S)} \quad (10)$$

dan laju awal ekstraksi h , dengan $C_t = t$ ketika t mendekati 0, dapat didefinisikan sebagai:

$$h = k_2 C_S^2 \quad (11)$$

Persamaan (8) dapat diubah lagi sehingga akhirnya didapatkan:

$$\frac{t}{C_t} = \frac{t}{C_S} + \frac{1}{h} \quad (12)$$

Laju awal ekstraksi h , kapasitas ekstraksi C_S , dan konstanta laju ekstraksi untuk orde dua k_2 dapat ditentukan secara eksperimental dari *slope* dan *intercept* dengan cara membuat *plot* antara t/C_t dengan t .

2.10 *Response Surface Methodology (RSM)*

Response surface methodology (RSM) adalah sekumpulan teknik matematika dan statistika yang berguna untuk mengembangkan, meningkatkan, dan mengoptimalkan proses, yang mana beberapa faktor (variabel independen) dapat mempengaruhi respon dan mendapatkan model hubungan antara variabel bebas dan respon serta mendapatkan kondisi proses yang menghasilkan respon yang optimum (Radojkovic *et al.* 2012). Ide dasar metode ini adalah memanfaatkan desain eksperimen berbantuan statistika untuk mencari nilai optimal dari suatu respon. Metode ini pertama kali diajukan sejak tahun 1951 dan sampai saat ini telah banyak dimanfaatkan baik dalam dunia penelitian maupun aplikasi industri. Misalnya, dengan menyusun suatu model matematika, peneliti dapat mengetahui nilai variabel-variabel independen yang menyebabkan nilai variabel respon menjadi optimal. Dengan metode ini dapat diketahui model empirik yang menyatakan hubungan antara variabel-variabel independen dengan variabel respon, serta dapat diketahui nilai variabel-variabel independen yang menyebabkan nilai variabel respon menjadi optimal. Kelebihan dari metode RSM ini adalah memperoleh level-level faktor yang membuat percobaan optimal, namun dengan meminimalkan unit percobaan dengan menggunakan rancangan percobaan dan optimasi menggunakan pendugaan persamaan respon yang dihasilkan, sehingga dapat menghemat biaya eksperimen.

Desain yang umum digunakan dalam RSM adalah *Central Composite Design* (full factorial) dan *Box-Behnken Design* (fractional factorial). Pemodelan dalam RSM ditunjukkan dengan regresi linier yang mengekspresikan hubungan antara variabel respon dengan faktor. Model RSM dianalisis dengan 2 tahap pemodelan. Tahap pemodelan pertama yaitu model orde satu. Titik optimal pada model orde satu dapat dianalisis dengan uji kecukupan model (*lack-of-fit*). Hipotesis nol pada uji *lack-of-fit* mengindikasikan bahwa tidak terdapat *lack-of-fit* sehingga model yang diuji sudah layak (sesuai). Apabila pada model orde satu mengandung *lack-of-fit*, maka model orde satu akan diubah ke model orde dua. Apabila tidak terdapat *lack-of-fit*, maka eksperimen harus dijalankan lagi dengan level yang lebih tepat dengan memasuki prosedur *steepest ascent* (Montgomery,

2001). Persamaan untuk model orde satu dan orde dua dapat dilihat pada persamaan (1).

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k (\beta_i x_i + \varepsilon) \quad (13)$$

Keterangan:

β_i = konstanta dalam regresi

x_i = variabel independen (faktor)

y = variabel dependen (respon)

x_i = faktor-faktor yang berpengaruh terhadap variabel respon, $i = 1, 2, \dots, k$

ε = komponen residual (*error*) yang bersifat random dan terdistribusi secara

identik dan saling bebas (*Independent Identically Distributed-IID*) dengan distribusi normal pada nilai rata-rata 0 dan varian σ^2 . Secara matematis dinyatakan dengan $\varepsilon \approx \text{IID Normal}(0, \sigma^2)$.

Selanjutnya pada keadaan mendekati respon, model order dua atau lebih biasanya disyaratkan untuk mendekati respon karena adanya lengkungan (*curvature*) dalam permukaannya. Dalam banyak kasus, model order dua dapat dinyatakan seperti pada Persamaan 2.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (14)$$

Keterangan:

$\beta_0, \beta_i, \beta_{ii}, \beta_{ij}$ = konstanta dalam regresi untuk *intercept*, linier, kuadratik, dan interaksi

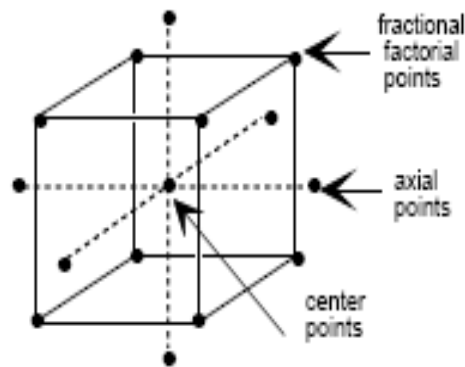
x_i, x_j = faktor-faktor yang berpengaruh terhadap variabel respon

k = jumlah variabel

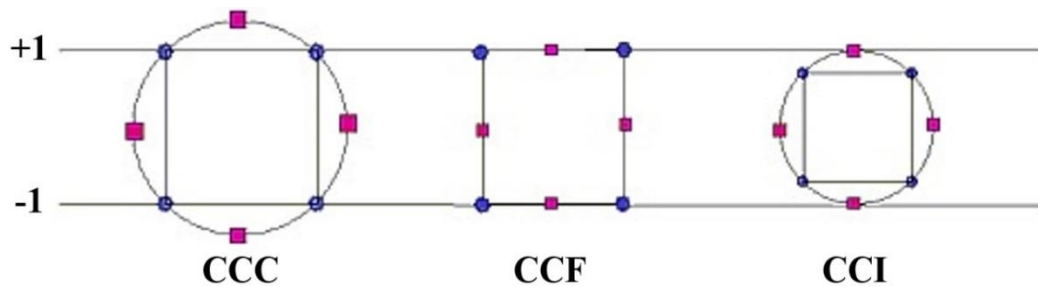
ε = komponen residual (*error*) yang bersifat random dan terdistribusi secara

identik dan saling bebas (*Independent Identically Distributed-IID*) dengan distribusi normal pada nilai rata-rata 0 dan varian σ^2 . Secara matematis dinyatakan dengan $\varepsilon \approx \text{IID Normal}(0, \sigma^2)$.

Desain yang paling terkenal untuk mencocokkan model orde dua yaitu dengan *Central Composite Design* (CCD). Berdasarkan jarak *star* (*axial*) *point*-nya, ada tiga macam CCD, yaitu CCC (*Circumscribed*), CCI (*inscribed*) dan CCF (*Face-Center*). Kecocokan model orde dua *Central Composite Design* (CCD) telah banyak digunakan. Secara umum, CCD mempunyai titik faktorial (*factorial points*) 2^k , titik *star* (*axial*) *points* ($2k$), dan titik pusat (*center points*). CCD sangat efisien untuk kecocokan model orde dua. Dua parameter spesifik dalam CCD adalah jarak sumbu α yang dipilih dari pusat desain dan jumlah titik pusat (*center points*) (Montgomery, 2001).



Gambar 2.10. *Central Composite Design* (CCD)



Gambar 2.11. Jenis *Central Composite Design* (CCD)

2.11 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.3 Penelitian terdahulu

Bahan yang diekstrak	Kondisi Operasi yang digunakan	Senyawa bioaktif yang terekstrak dan yield yang diperoleh	Referensi
<i>Mentha crispa</i> L. (garden mint)	SFME: Pw = 500 W; t = 30 menit HD: F/S = 0,083; t = 4,5 jam; s = akuades	SFME: Yield = 0,095% Limonene = 9,7% Carvone = 64,9% HD: Yield = 0,095% Limonene = 20,2% Carvone = 52,3%	Lucchesi <i>et al.</i> , 2004
<i>Citrus limon</i> (L.) Burm. (<i>Lemon peels</i>)	SFME: Pw = 200 W; Feed = 200 g; t = 30 menit HD: F/S = 0,1 g/mL; t = 180 menit CP: Feed = 1 kg; t = 60 menit	SFME: Yield = (0,24 ± 0,01) % Monoterpenes = 86,03 % Oxygenated monoterpenes = 3,93 % HD: Yield = (0,21 ± 0,01) % Monoterpenes = 93,23 % Oxygenated monoterpenes = 4,53 % CP: Yield = (0,05 ± 0,01) % Monoterpenes = 95,37 % Oxygenated monoterpenes = 2,00 %	Ferhat <i>et al.</i> , 2007
Bunga mangga (<i>Mangifera indica</i> L.)	MHD: Pw = 800 W; t = 75 menit; s = akuades HD: t = 4 jam; s = akuades	MHD: Yield = 0,16% Terpinolene = 43,17% δ-3-Carene = 7,72% Limonene = 5,22% α-Terpinene = 4,64% p-Cymen-8-ol = 4,04% HD: Yield = 0,11% Terpinolene = 50,16% δ-3-Carene = 8,17%	Wang <i>et al.</i> , 2010

Bahan yang diekstrak	Kondisi Operasi yang digunakan	Senyawa bioaktif yang terekstrak dan yield yang diperoleh	Referensi
		Limonene = 5,39% α -Terpinene = 5,31% β -Selinene = 3,75%	
Daun lemon	MHD: Pw = 500 W; F/S= 0,05; t = 10 menit; s = heksana HD: F/S= 0,025; t = 120 menit; s = heksana	MHD: Yield = 2,20% HD: Yield = 1,98%	Bale dan Shinde, 2013
<i>Rosmarinus officinalis</i> (rosemary)	SFME: Pw = 150 W; t = 30 menit HD: F/S = 0,143; t = 2 jam; s = akuades	SFME: Yield = 0,54% Oxygenated compounds = 36,2% Monoterpene hydrocarbons = 58,3% HD: Yield = 0,57% Oxygenated compounds = 33,9% Monoterpene hydrocarbons = 66%	Filly <i>et al.</i> , 2014
Daun pigeon pea (<i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp.)	SFME: Pw = 660 W; t = 44 menit HD: F/S = 0,133; t = 5 jam; s = akuades	SFME: Yield = (0,330 \pm 0,017) % α -Copaene = 5,89 \pm 0,16% β -Caryophyllene = 7,46 \pm 0,19% α -Himachalene = 12,97 \pm 0,31% α -Humulene = 17,43 \pm 0,40% Alloaromadendrene = 8,45 \pm 0,25% α -Bisabolene = 12,64 \pm 0,34% Sesquiterpenes = 72,89% HD: Yield = (0,296 \pm 0,021)	Qi <i>et al.</i> , 2014

Bahan yang diekstrak	Kondisi Operasi yang digunakan	Senyawa bioaktif yang terekstrak dan yield yang diperoleh	Referensi
		% α -Copaene = 4,83 \pm 0,17% β -Caryophyllene = 5,89 \pm 0,16% α -Himachalene = 13,28 \pm 0,36% α -Humulene = 13,39 \pm 0,43% Alloaromadendrene = 8,24 \pm 0,24% α -Bisabolene = 8,24 \pm 0,24% Sesquiterpenes = 65,26%	
Gaharu (<i>Aquilaria malaccensis</i>)	Soxhlet: F/S = 0,033; t = 6 jam; s = n-hexane HD: F/S = 0,1 g/mL; t = 72 jam; s = akuades ASE: F/S = 1,11 g/mL, t = 90 menit; T = 150°C, s = n-hexane	Soxhlet: Yield = 1,67 % Agarospirol = 5,49 % 10-epi-gamma-eudesmol = 0,72 % Alpha-agarofuran = 0,22 % Alpha-guaiene = 2,83 % 3-Phenyl-2-butanone = 0,25 % HD: Yield = 0,18 % Agarospirol = 2,78 % 10-epi-gamma-eudesmol = 2,03 % Alpha-agarofuran = 0,27 % Alpha-guaiene = 0,00 % 3-Phenyl-2-butanone = 0,00 % ASE: Yield = 2,12 % Agarospirol = 6,20 % 10-epi-gamma-eudesmol = 10,20 %	Sulaiman <i>et al.</i> , 2014

Bahan yang diekstrak	Kondisi Operasi yang digunakan	Senyawa bioaktif yang terekstrak dan yield yang diperoleh	Referensi
		Alpha-agarofuran = 0,97 % Alpha-guaiene = 2,64 % 3-Phenyl-2-butanone = 1,59 %	
Kemangi (<i>Ocimum basilicum</i> L.)	MHD: Pw = 380 W; F/S = 0,4375 g/mL; t = 180 menit; s = akuades SFME: Pw = 380 W; F/D = 0,25 g/mL; t = 60 menit	MHD: Yield = 0,668 % SFME: Yield = 2,281 %	Putri dan Dewi, 2016
Nilam (<i>Pogostemon cablin</i> Benth)	MHD: Pw = 600 W; t = 120 menit; F/S = 0,10 g/mL; s = akuades MAHD: Pw = 600 W; t = 120 menit; v = 5,0 L/menit; F/S = 0,10 g/mL; s = akuades	MHD: Yield = (1,9437 ± 0,0888) % Patchouli alcohol = 26,32 % δ-Guaiene = 14,69 % α-Guaiene = 12,18 % α-Patchoulene = 11,13 % β-Caryophyllene = 4,63% MAHD: Yield = (2,7678 ± 0,1993) % Patchouli alcohol = 25,23 % δ-Guaiene = 14,89 % α-Guaiene = 11,57 % α-Patchoulene = 11,54% β-Caryophyllene = 5,42 %	Kusuma, 2016
<i>Santalum album</i> (sandalwood)	MAHD: Pw = 600 W; F/S = 0,05; v = 5 L/min; t = 2 jam	MAHD: Yield = (1,2184 ± 0,1139) % α-Santalol = 28,73% β-Santalol = 24,80%	Kusuma dan Mahfud, 2016

Bahan yang diekstrak	Kondisi Operasi yang digunakan	Senyawa bioaktif yang terekstrak dan <i>yield</i> yang diperoleh	Referensi
	MHD: P _w = 600 W; F/S= 0,05; t = 2 jam	MHD: <i>Yield</i> = (1,3170 ± 0,0973) % α-Santalol = 27,81% β-Santalol = 22,67%	

SFME, *solvent-free microwave extraction*; HD, *hydrodistillation*; MHD, *microwave hydrodistillation*; MAHD, *microwave air-hydrodistillation*; CP, *cold pressing*; ASE, *accelerated solvent extraction*; P_w = daya microwave; T = suhu; t = waktu; F/S = *feed to solvent ratio*; F/D = *feed to distiller ratio*; s = pelarut; v = laju aliran (*flow rate*).

BAB 3

METODA PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Bahan yang digunakan adalah daun nilam (*Pogostemon cablin* Benth) dan gaharu (*Aquilaria malaccensis*). Metode yang digunakan adalah *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction*. Metode *microwave air-hydrodistillation* secara umum terdiri dari tiga bagian utama yaitu kompresor yang berfungsi untuk menginjeksikan udara ke dalam *distiller* yang berisi matriks (bagian tanaman yang akan diambil minyak atsirinya) dan pelarut, *microwave* yang berfungsi sebagai pemanas, dan kondensor yang berfungsi sebagai sistem pendingin (Kusuma dan Mahfud, 2016). Pada ekstraksi dengan metode *microwave air-hydrodistillation* tersebut digunakan pelarut akuades. Sedangkan pada metode *solvent-free microwave extraction*, ekstraksi minyak atsiri dilakukan tanpa menambahkan pelarut (Filly *et al.*, 2014).

Dalam ekstraksi minyak atsiri dengan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction*, uap yang dihasilkan kemudian dikondensasikan sehingga menghasilkan distilat yang terdiri atas fase minyak dan fase air. Distilat yang terdiri atas fase minyak dan fase air tersebut selanjutnya dipisahkan dengan menggunakan corong pemisah. Setelah dipisahkan, minyak yang diperoleh didehidrasi dengan Na₂SO₄ anhidrat. Minyak yang telah didehidrasi ini kemudian disimpan pada temperatur 4°C sampai minyak dianalisa (Ferhat *et al.*, 2006).

3.2 Bahan dan Alat

3.3.1. Bahan

1. Daun nilam (*Pogostemon cablin* Benth)

Daun nilam yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Trenggalek dalam bentuk daun segar dan daun yang telah dikeringkan.

2. Gaharu (*Aquilaria malaccensis*)

Gaharu yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Lumajang, Jawa Timur.

3. Akuades

Akuades dalam penelitian ini digunakan sebagai *solvent* untuk metode *microwave air-hydrodistillation*. Sedangkan air yang digunakan pada kondensor untuk proses pendinginan adalah air PDAM.

4. N-Hexane

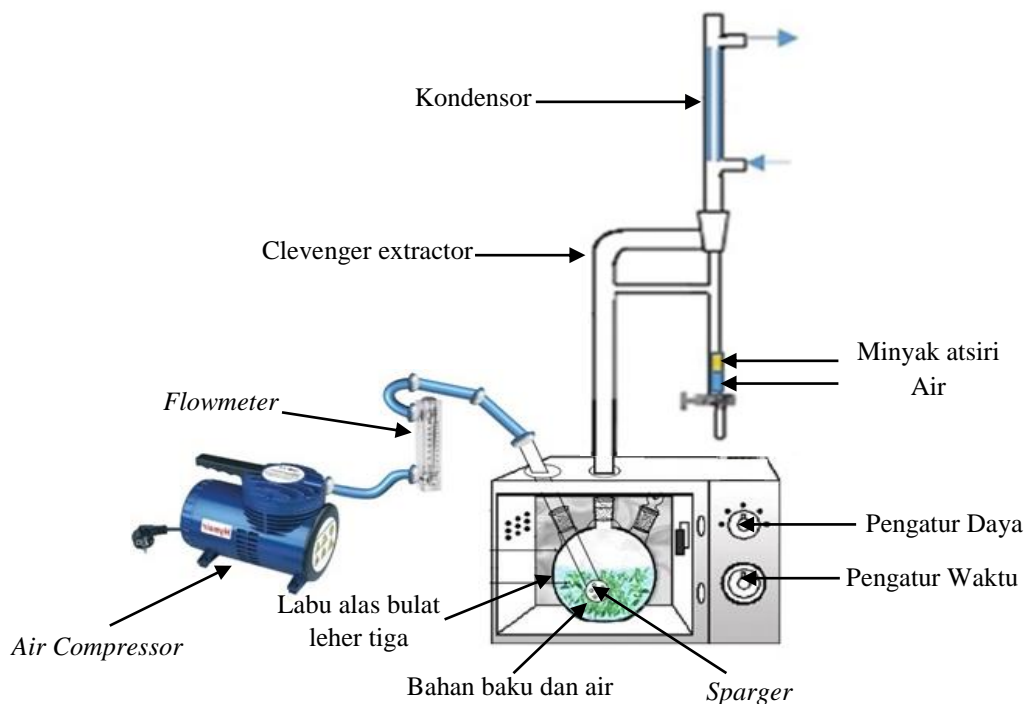
N-Hexane dalam penelitian ini digunakan untuk mengikat minyak gaharu yang dihasilkan pada saat proses ekstraksi.

5. Na_2SO_4 anhidrat

Na_2SO_4 anhidrat dalam penelitian ini digunakan untuk mengikat (menyerap) kandungan air yang masih terdapat dalam minyak atsiri.

3.3.2. Peralatan yang Digunakan

3.2.2.1 Peralatan untuk Metode *Microwave Air-Hydrodistillation*



Gambar 3.1. Skema alat untuk ekstraksi minyak nilam dan minyak gaharu dengan menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation*

Deskripsi peralatan:

Skema peralatan untuk metode *microwave air-hydrodistillation* dapat dilihat pada Gambar 3.1. Peralatan utama terdiri dari *microwave* dan *distiller* yang terbuat dari labu alas bulat leher tiga Pyrex, kondensor, *clevenger extractor*, *adaptor*, dan *sparger* yang berfungsi untuk mengalirkan aliran udara dari kompresor yang lajunya diatur menggunakan *flowmeter*. Spesifikasi peralatan utama adalah sebagai berikut:

- *Distiller* yang digunakan terbuat dari labu alas bulat leher tiga Pyrex dengan ukuran 1 liter
- *Microwave* yang digunakan Electrolux model EMM2308X dengan spesifikasi sebagai berikut:
 - Daya maksimum: 800 W
 - Tegangan 220 V, Daya 1250 W
 - Frekuensi magnetron 2450 MHz (2,45 GHz)
 - Dimensi *microwave*: Panjang = 48,5 cm, Lebar = 37,0 cm, dan Tinggi = 29,25 cm
- *Flowmeter* yang digunakan memiliki rentang antara 0,3 L/min sampai 3 L/min
- *Air compressor* yang digunakan Model AS06 dengan spesifikasi sebagai berikut:
 - *Power* : 1/4HP 220 V – 240 V 50/60Hz
 - *Max. Pressure* : 3,5 bar (50 psi)
 - *Total weight* : 4,5 kg
 - Dimensi *air compressor*: Panjang = 25,0 cm, Lebar = 12,5 cm, dan Tinggi = 17,0 cm

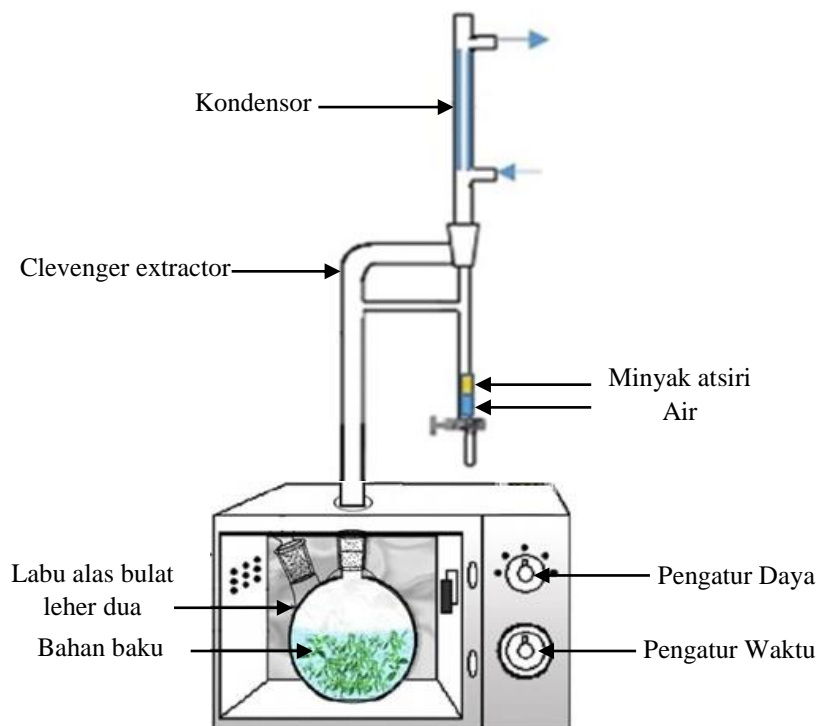
3.2.2.2 Peralatan untuk Metode *Solvent-Free Microwave Extraction*

Deskripsi peralatan:

Skema peralatan untuk metode *solvent-free microwave extraction* dapat dilihat pada Gambar 3.2. Peralatan utama terdiri dari *microwave* dan *distiller* yang terbuat dari labu alas bulat leher dua Pyrex, kondensor, *clevenger extractor* dan *adaptor*. Spesifikasi peralatan utama adalah sebagai berikut:

- *Distiller* yang digunakan terbuat dari labu alas bulat leher dua Pyrex dengan ukuran 1 liter

- *Microwave* yang digunakan Electrolux model EMM2308X dengan spesifikasi sebagai berikut:
 - Daya maksimum: 800 W
 - Tegangan 220 V, Daya 1250 W
 - Frekuensi magnetron 2450 MHz (2,45 GHz)
 - Dimensi *microwave*: Panjang = 48,5 cm, Lebar = 37,0 cm, dan Tinggi = 29,25 cm



Gambar 3.2. Skema alat untuk ekstraksi minyak nilam dan minyak gaharu dengan menggunakan metode *solvent-free microwave extraction*

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1. Ekstraksi Minyak Nilam dengan Metode *Microwave Air-Hydrodistillation*

1. Menimbang bahan baku sesuai dengan rasio bahan baku terhadap *solvent* yang telah ditentukan
2. Melakukan instalasi alat ekstraksi (Gambar 3.1)
3. Memasukkan bahan baku yang telah ditimbang pada *distiller* dan menambahkan pelarut (akuades) sebanyak 200 mL

4. Mengalirkan air pada sistem pendingin (kondensor)
5. Menyalakan kompresor untuk menambahkan aliran udara pada *distiller* yang telah terisi bahan baku dan pelarut
6. Mengatur laju aliran udara sesuai dengan kondisi operasi dan variabel penelitian yang telah ditentukan menggunakan *flowmeter*
7. Menyalakan *microwave* agar *distiller* yang telah terisi bahan baku dan pelarut mendapatkan paparan radiasi *microwave* sesuai kondisi operasi dan variabel penelitian
8. Menunggu sampai tetes pertama keluar dari *adaptor*
9. Menghitung waktu ekstraksi mulai tetes pertama keluar dari *adaptor*
10. Menghentikan proses ekstraksi setelah waktu yang telah ditentukan
11. Memisahkan minyak dari air
12. Menambahkan Na_2SO_4 anhidrat untuk mengikat (menyerap) kandungan air yang masih terdapat dalam minyak atsiri
13. Menimbang minyak atsiri yang diperoleh dengan menggunakan neraca analitik
14. Menyimpan minyak atsiri dalam botol vial pada temperatur 4°C
15. Melakukan analisa terhadap minyak atsiri yang dihasilkan

3.3.2. Ekstraksi Minyak Gaharu dengan Metode *Microwave Air-Hydrodistillation*

1. Menimbang bahan baku sesuai dengan rasio bahan baku terhadap *solvent* yang telah ditentukan
2. Melakukan instalasi alat ekstraksi (Gambar 3.1)
3. Memasukkan bahan baku yang telah ditimbang pada *distiller* dan menambahkan pelarut (akuades) sebanyak 200 mL
4. Memasukkan n-hexane ke dalam corong pemisah
5. Mengalirkan air pada sistem pendingin (kondensor)
6. Menyalakan kompresor untuk menambahkan aliran udara pada *distiller* yang telah terisi bahan baku dan pelarut
7. Mengatur laju aliran udara sesuai dengan kondisi operasi dan variabel penelitian yang telah ditentukan menggunakan *flowmeter*

8. Menyalakan *microwave* agar *distiller* yang telah terisi bahan baku dan pelarut mendapatkan paparan radiasi *microwave* sesuai kondisi operasi dan variabel penelitian
9. Menunggu sampai tetes pertama keluar dari *adaptor*
10. Menghitung waktu ekstraksi mulai tetes pertama keluar dari *adaptor*
11. Menghentikan proses ekstraksi setelah waktu yang telah ditentukan
12. Memisahkan minyak + n-hexane dari air
13. Memisahkan minyak dan n-hexane dengan pemanasan pada *hot plate*
14. Menimbang minyak atsiri yang diperoleh dengan menggunakan neraca analitik
15. Menyimpan minyak atsiri dalam botol vial pada temperatur 4°C
16. Melakukan analisa terhadap minyak atsiri yang dihasilkan

3.3.3. Ekstraksi Minyak Nilam dengan Metode *Solvent-Free Microwave Extraction*

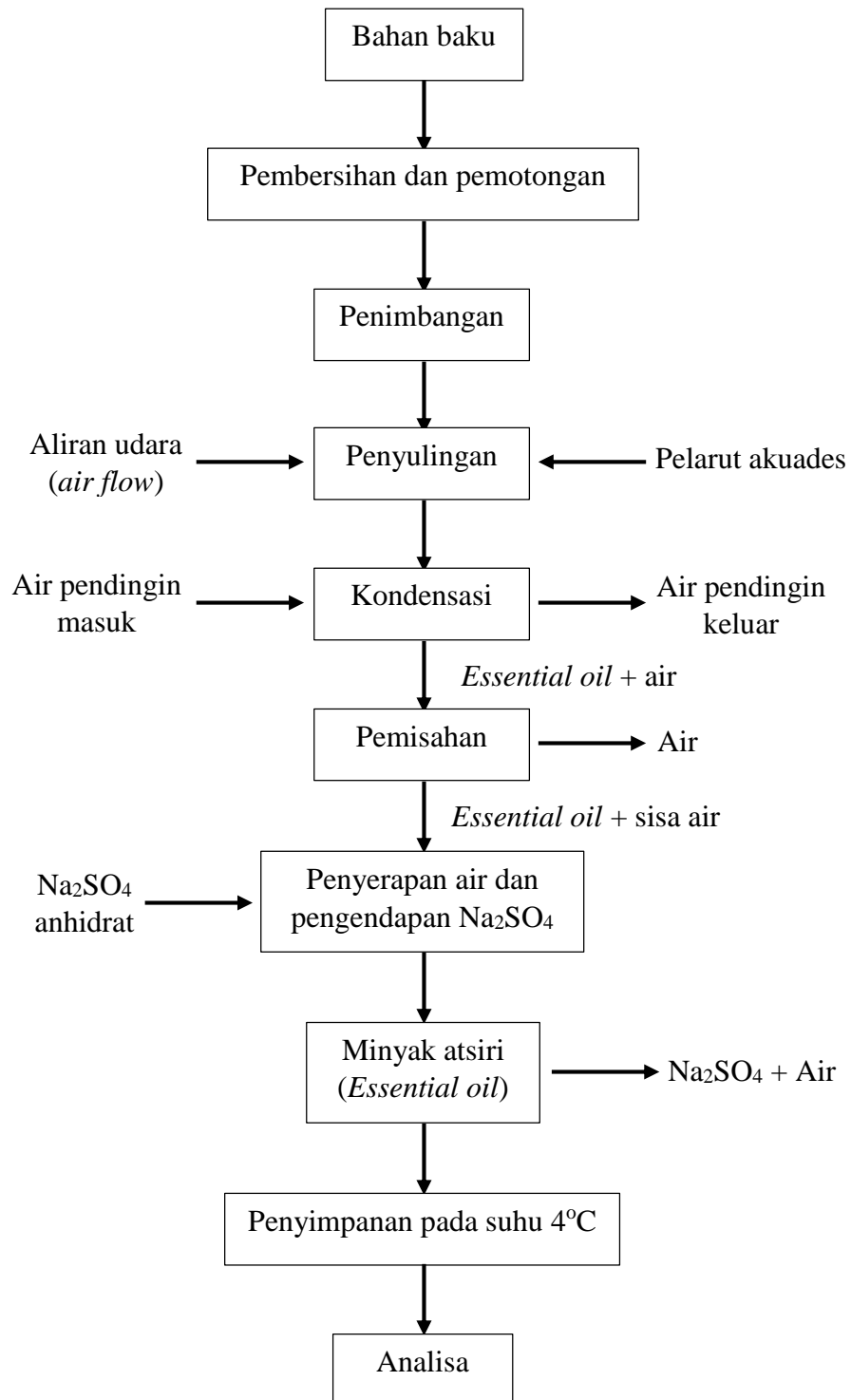
1. Menimbang bahan baku sesuai dengan rasio bahan baku terhadap *distiller* yang telah ditentukan
2. Melakukan instalasi alat ekstraksi (Gambar 3.2)
3. Memasukkan bahan baku yang telah ditimbang pada *distiller*
4. Mengalirkan air pada sistem pendingin (kondensor)
5. Menyalakan *microwave* agar *distiller* yang telah terisi bahan baku mendapatkan paparan radiasi *microwave* sesuai kondisi operasi dan variabel penelitian
6. Menunggu sampai tetes pertama keluar dari *adaptor*
7. Menghitung waktu ekstraksi mulai tetes pertama keluar dari *adaptor*
8. Menghentikan proses ekstraksi setelah waktu yang telah ditentukan
9. Memisahkan minyak dari air
10. Menambahkan Na_2SO_4 anhidrat untuk mengikat (menyerap) kandungan air yang masih terdapat dalam minyak atsiri
11. Menimbang minyak atsiri yang diperoleh dengan menggunakan neraca analitik
12. Menyimpan minyak atsiri dalam botol vial pada temperatur 4°C

13. Melakukan analisa terhadap minyak atsiri yang dihasilkan

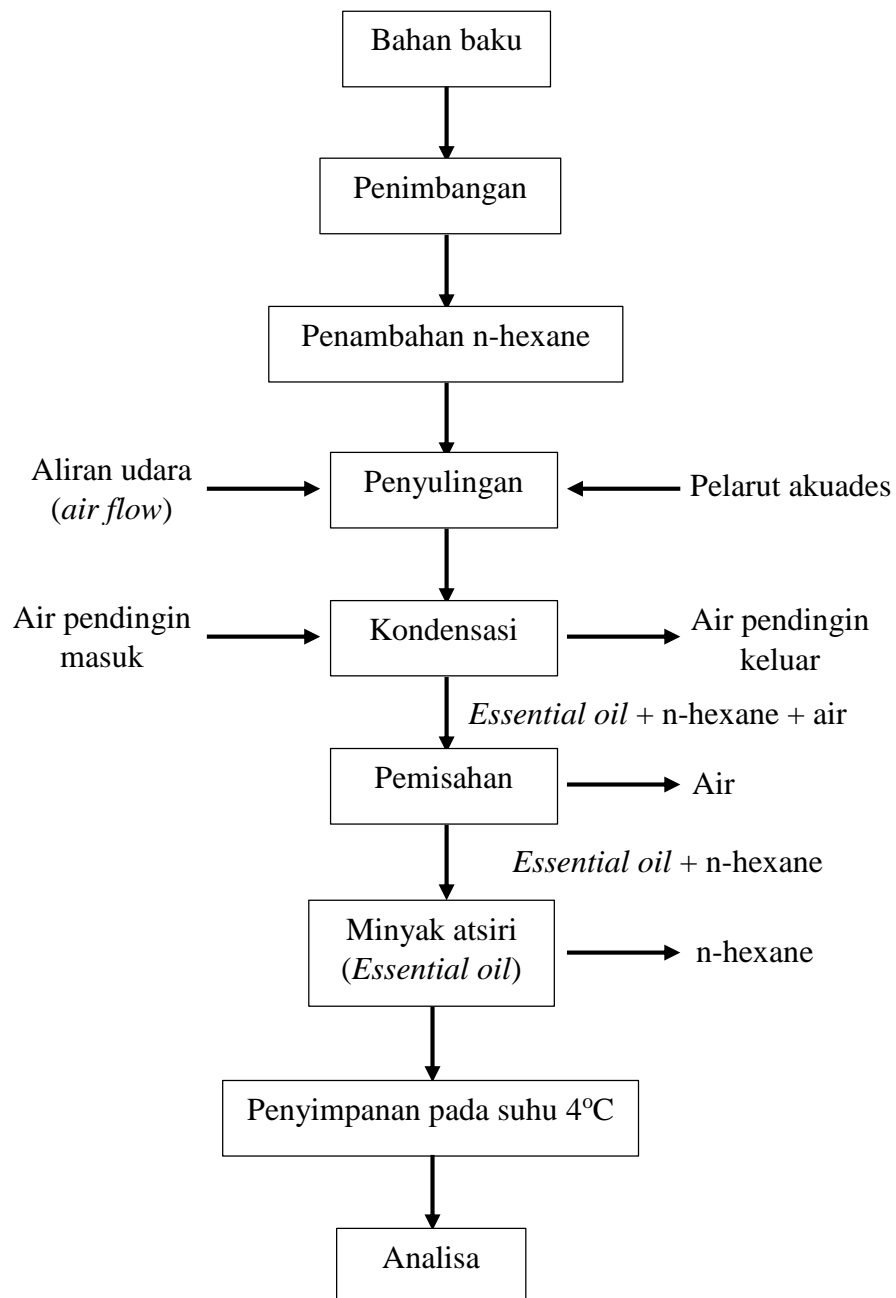
3.3.4. Ekstraksi Minyak Gaharu dengan Metode *Solvent-Free Microwave Extraction*

1. Menimbang bahan baku sesuai dengan rasio bahan baku terhadap *distiller* yang telah ditentukan
2. Melakukan instalasi alat ekstraksi (Gambar 3.2)
3. Memasukkan bahan baku yang telah ditimbang pada *distiller*
4. Memasukkan n-hexane ke dalam corong pemisah
5. Mengalirkan air pada sistem pendingin (kondensor *liebig*)
6. Menyalakan *microwave* agar *distiller* yang telah terisi bahan baku mendapatkan paparan radiasi *microwave* sesuai kondisi operasi dan variabel penelitian
7. Menunggu sampai tetes pertama keluar dari *adaptor*
8. Menghitung waktu ekstraksi mulai tetes pertama keluar dari *adaptor*
9. Menghentikan proses ekstraksi setelah waktu yang telah ditentukan
10. Memisahkan minyak + n-hexane dari air
11. Memisahkan minyak dan n-hexane dengan pemanasan pada *hot plate*
12. Menimbang minyak atsiri yang diperoleh dengan menggunakan neraca analitik
13. Menyimpan minyak atsiri dalam botol vial pada temperatur 4°C
14. Melakukan analisa terhadap minyak atsiri yang dihasilkan

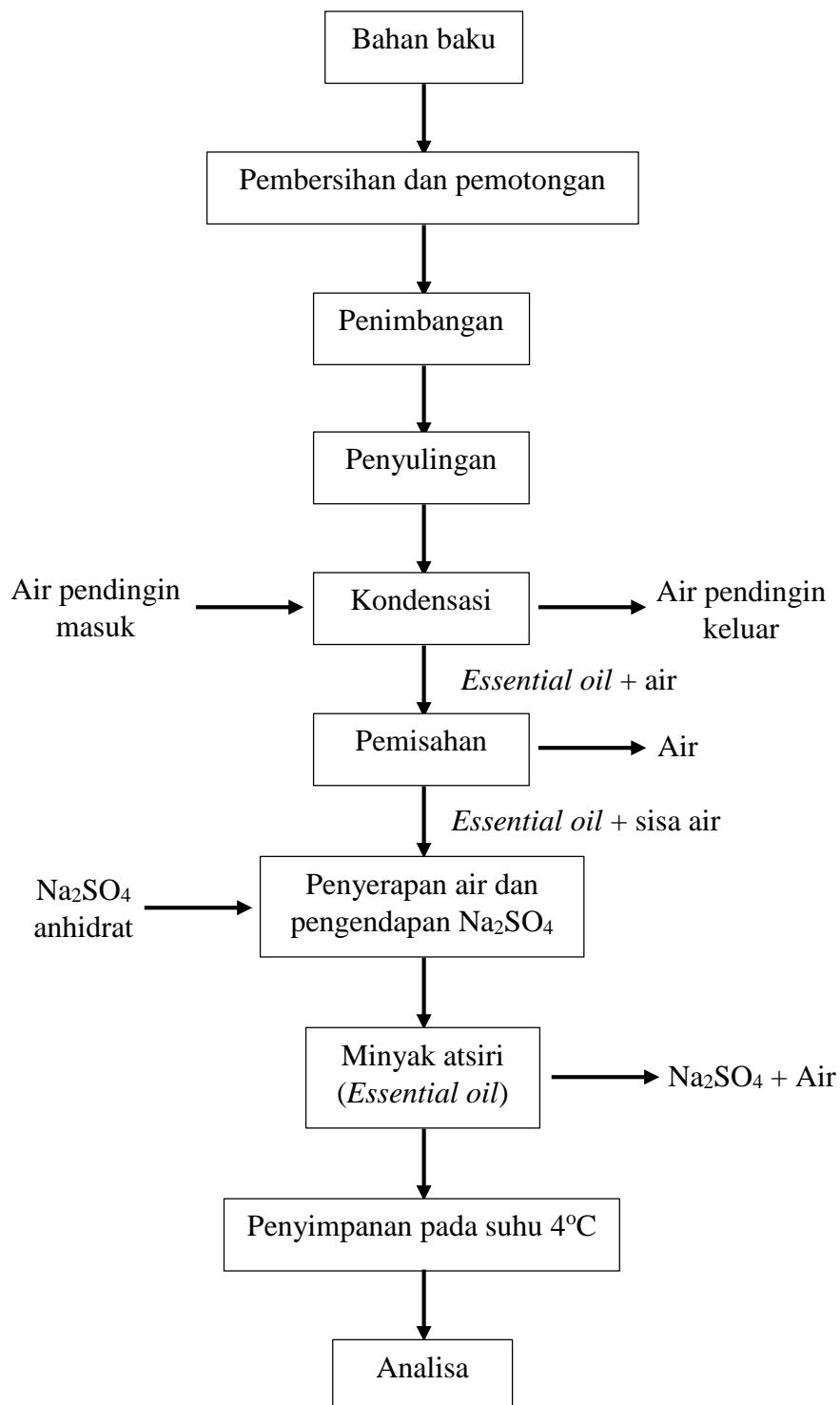
3.4. Diagram Alir Penelitian



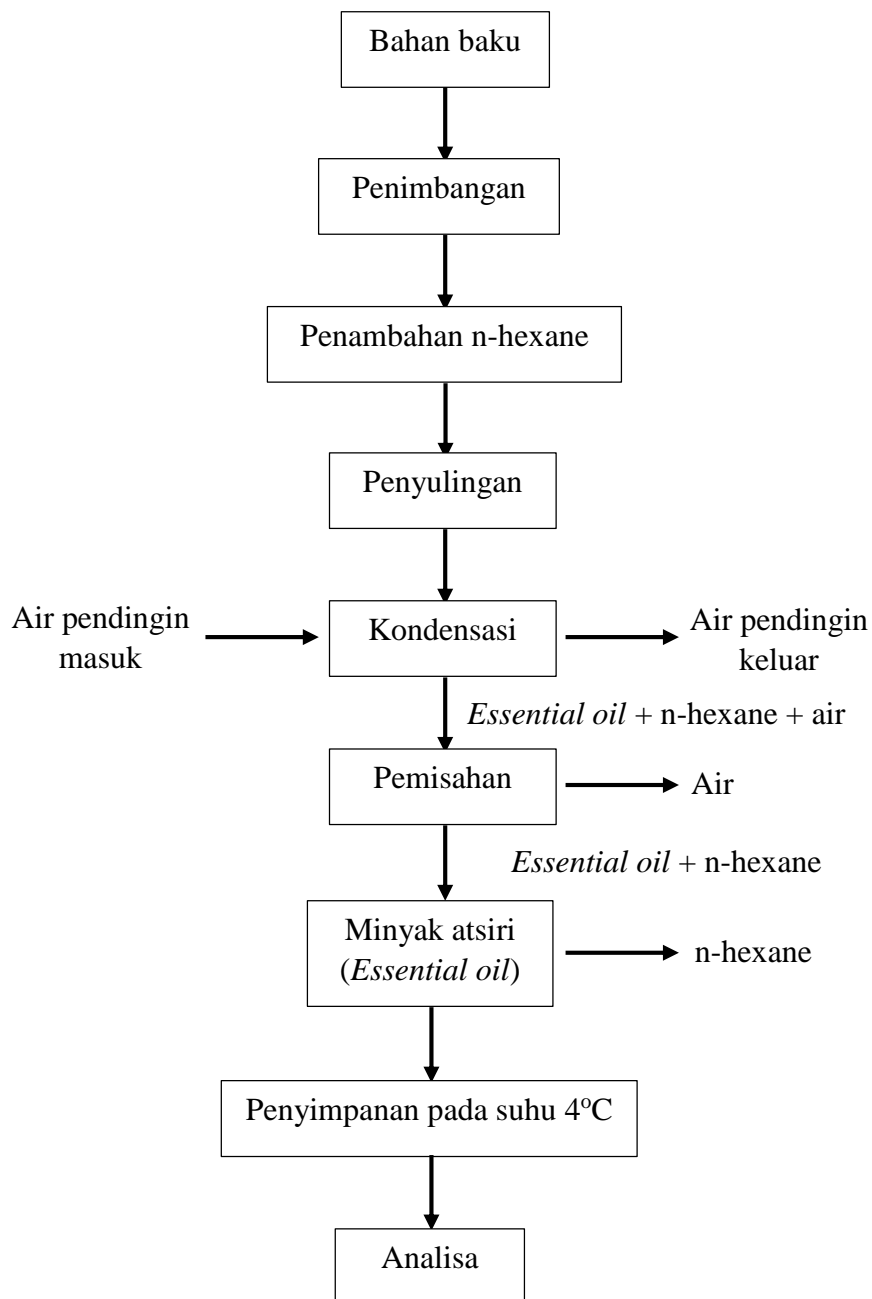
Gambar 3.3. Diagram alir penelitian untuk ekstraksi minyak nilam dengan menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation*



Gambar 3.4. Diagram alir penelitian untuk ekstraksi minyak gaharu dengan menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation*



Gambar 3.5. Diagram alir penelitian untuk ekstraksi minyak nilam dengan menggunakan metode *solvent-free microwave extraction*



Gambar 3.6. Diagram alir penelitian untuk ekstraksi minyak gaharu dengan menggunakan metode *solvent-free microwave extraction*

3.5. Kondisi Operasi dan Variabel Penelitian

3.5.1. Kondisi Operasi

Kondisi operasi yang digunakan untuk metode *microwave microwave air-hydrodistillation* adalah sebagai berikut:

- Tekanan atmosferik

- b. Volume pelarut 200 mL untuk ekstraksi minyak nilam dan minyak gaharu

Kondisi operasi yang digunakan untuk metode *solvent-free microwave extraction* adalah pada tekanan atmosferik

3.5.2. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Metode ekstraksi: *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction*.
- b. Daya *microwave*: 150 W, 300 W, 450 W, dan 600 W
- c. Rasio bahan baku terhadap *solvent* untuk daun nilam (*Pogostemon cablin* Benth) adalah 0,20, 0,30, 0,40, dan 0,50 g mL⁻¹, sedangkan untuk gaharu (*Aquilaria malaccensis*) adalah 0,75 g mL⁻¹
- d. Rasio bahan baku terhadap *distiller* untuk daun nilam (*Pogostemon cablin* Benth) adalah 0,06, 0,08, 0,10, dan 0,12 g mL⁻¹, sedangkan untuk gaharu (*Aquilaria malaccensis*) adalah 0,15 g mL⁻¹.
- e. Kondisi bahan baku untuk daun nilam (*Pogostemon cablin* Benth): segar dan kering (kadar air \pm 10%).
- f. Ukuran bahan baku: untuk daun nilam (*Pogostemon cablin* Benth) adalah utuh, setengah utuh (dipotong hingga ukurannya \pm 50% dari ukuran bahan baku utuh), dan cacah (dipotong hingga ukurannya \leq 10% dari ukuran bahan baku utuh).
- g. Laju aliran udara: 0, 0,5, dan 1,0 L/min.
- h. Waktu perendaman bahan untuk ekstraksi minyak gaharu dengan metode *solvent-free microwave extraction*: 0,5, 6, dan 24 jam.
- i. Waktu ekstraksi minyak nilam untuk metode *microwave air-hydrodistillation*: 1, 2, dan 3 jam, sedangkan untuk metode *solvent-free microwave extraction*: 30, 60, dan 90 menit.
- j. Waktu ekstraksi minyak gaharu untuk untuk metode *microwave air-hydrodistillation* selama 4 jam dan untuk metode *solvent-free microwave extraction* selama 3 jam.

- k. Pengamatan pada ekstraksi minyak nilam dilakukan setiap 20 menit untuk metode *microwave air-hydrodistillation* dan setiap 10 menit untuk metode *solvent-free microwave extraction*.
- l. Pengamatan pada ekstraksi minyak gaharu dilakukan setiap 2 jam untuk metode *microwave air-hydrodistillation* dan setiap 1,5 jam untuk metode *solvent-free microwave extraction*.

3.6. Besaran yang Diukur dan Analisa terhadap Minyak Atsiri

Adapun beberapa besaran dan analisa yang dilakukan terhadap minyak nilam dan minyak gaharu yang diperoleh antara lain:

1. Pengukuran *yield* minyak atsiri

$$Yield = \frac{\text{berat minyak atsiri yang dihasilkan}}{\text{berat bahan baku yang digunakan} \times (1 - \text{kadar air}(\%))} \times 100$$

2. Pengukuran *recovery* minyak atsiri

$$Recovery = \frac{\text{massa minyak atsiri hasil ekstraksi}}{\text{massa minyak atsiri hasil soxhlet}} \times 100$$

3. Minyak nilam (*Patchouli oil*) dan minyak gaharu (*Agarwood oil*) dianalisa komposisinya dengan menggunakan GC-MS.
4. Daun nilam (*Pogostemon cablin* Benth) dan gaharu (*Aquilaria malaccensis*) sebelum dan sesudah diekstraksi dianalisa morfologi permukaannya dengan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*)
5. Penetapan sifat fisik:
 - a. Analisa berat jenis dengan menggunakan piknometer
 - b. Analisa kelarutan dalam alkohol

3.7. Pemodelan Matematika

Pemodelan matematika untuk ekstraksi minyak nilam dan minyak gaharu dengan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* yaitu pemodelan kinetika menggunakan model orde satu dan orde dua.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Parameter yang Berpengaruh pada Ekstraksi Minyak Nilam dan Minyak Gaharu dengan Metode *Microwave Air-Hydrodistillation* dan *Solvent-Free Microwave Extraction*

4.1.1. Pengaruh Kondisi Bahan terhadap *Yield* Minyak Nilam

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini yaitu daun nilam dalam kondisi segar dan kering. Dimana setiap kondisi bahan tersebut memiliki nilai kadar air masing-masing. Kadar air adalah persentase kandungan air suatu bahan yang dapat dinyatakan berdasarkan berat basah (*wet basis*) atau berat kering (*dry basis*). Kadar air mempunyai pengaruh dan peranan yang besar terhadap mutu suatu produk yaitu *yield* minyak nilam. Pengukuran kadar air dilakukan dengan metode termogravimetri (metode oven). Sampel yang akan dihitung kadar airnya ditimbang terlebih dahulu lalu dikeringkan pada oven suhu 100°C selama 2 jam. Setelah itu didinginkan di udara terbuka dan kemudian ditimbang. Selanjutnya dikeringkan lagi pada oven dengan suhu 100°C selama 1 jam, didinginkan di udara terbuka dan kemudian ditimbang hingga diperoleh massa yang konstan. Perhitungan kadar air diperoleh dengan membandingkan massa sampel sebelum dikeringkan dan massa yang hilang setelah dikeringkan dikali 100% (Jolly and Hadlow, 2012).

Faktor kadar air digunakan untuk dapat membandingkan *yield* minyak ketika memiliki rasio bahan yang berbeda dan kondisi bahan yang berbeda. Pada penelitian ini, pada ekstraksi minyak nilam menggunakan kondisi bahan yang berbeda yaitu segar dan kering, begitu juga dengan rasio massa bahan terhadap *volume solvent* (0,2; 0,3; 0,4; 0,5 g/mL) dan rasio massa bahan terhadap *volume distiller* (0,06; 0,08; 0,10; 0,12 g/mL). Sehingga ketika faktor kadar air tidak dimasukkan maka besarnya *yield* antara bahan segar dan kering tidak dapat dibandingkan. Oleh karena itu, perlu dimasukkannya faktor kadar air ($1-x$) dalam perhitungan *yield* minyak sehingga selanjutnya dapat dibandingkan. Pengaruh kadar air terhadap *yield* minyak dapat dirumuskan menjadi suatu persamaan sebagai berikut:

$$Yield (\%) = \frac{\text{massa minyak atsiri yang dihasilkan}}{\text{massa bahan baku yang digunakan} \times (1 - \text{kadar air}(\%))} \times 100\%$$

(Chen *et al.*, 2015)

Bahan nilam yang digunakan dalam penelitian ini yaitu daun nilam pada kondisi segar dan kondisi kering. Sehingga dalam menghitung *yield* minyak yang dihasilkan perlu diperhitungkan kadar air yang terkandung dalam bahan tersebut. Berikut ini disajikan tabel kadar air dari bahan yang digunakan beserta massanya (tanpa dan dengan pengaruh kadar air):

Tabel 4.1. Data kadar air bahan dan pengaruhnya terhadap massa bahan

Kondisi Bahan	Kadar air (x) (%)	Massa (m) (gram)	Massa dengan pengaruh kadar air [m(1-x)] (gram)
Segar	82,737 ± 1,311	60,133	9,259 ± 1,693
Kering	17,848 ± 2,000	60,052	49,334 ± 1,201
Kering (setelah direndam)	87,358 ± 0,478	397,476	50,199 ± 0,050

Berdasarkan Tabel 4.1 tersebut, untuk daun nilam segar (kadar air = 82,737 ± 1,311%) dengan massa 60,133 gram setelah dikeringkan massanya menjadi 9,259 ± 1,693 gram. Setelah dihitung dengan menambahkan faktor kadar air, diperoleh massa bahan yang hampir sama antara massa nilam kering dengan nilam kering yang telah direndam. Sebaliknya, massa nilam segar dengan menambahkan faktor kadar air (82,737 ± 1,311%) memiliki massa yang jauh lebih kecil (9,259 ± 1,693 gram) daripada massa nilam kering dan kering (setelah direndam). Dimana pada penelitian ini, perhitungan kadar air menggunakan dasar *wet basis*, yaitu:

$$X = \frac{\text{massa air}}{\text{massa bahan basah}} \times 100\%$$

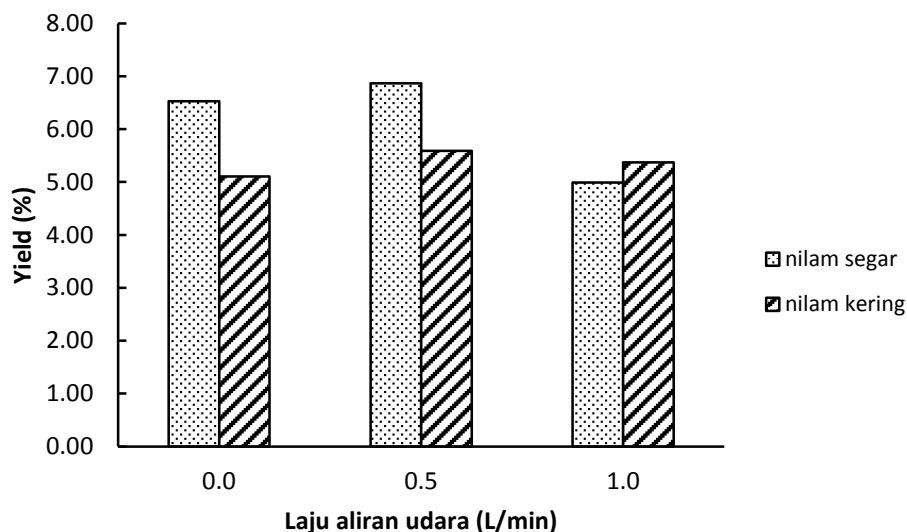
$$X = \frac{\text{massa bahan basah} - \text{massa bahan kering}}{\text{massa bahan basah}} \times 100\%$$

(Wilhelm, 2004)

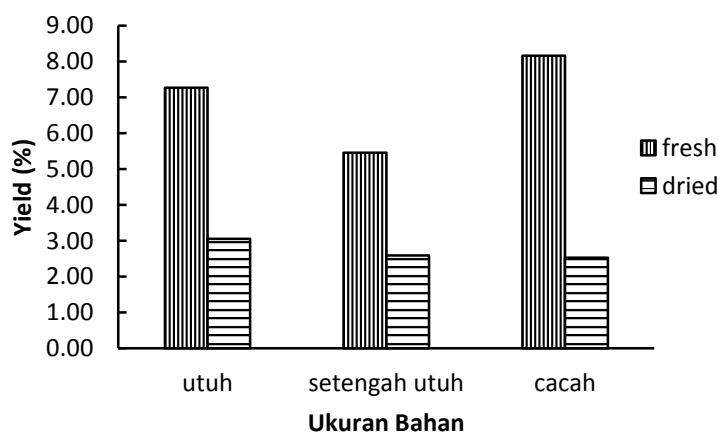
Pada penelitian ini, ekstraksi minyak nilam menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* dari bahan segar menghasilkan *yield* lebih besar dibandingkan dari kondisi bahan kering seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan 4.2. *Yield* yang lebih besar ini disebabkan oleh pengaruh proses pengeringan pada bahan tersebut. Menurut

Ayyobi *et al.* (2014), proses pengeringan memiliki efek yang signifikan terhadap *yield* minyak atsiri. Proses pengeringan ini dapat menyebabkan beberapa komponen minyak atsiri menjadi menguap sehingga akan mengurangi *yield* dari minyak atsiri tersebut. Ada berbagai macam metode pengeringan di antaranya dengan sinar matahari, dimasukan oven dengan suhu tertentu, menggunakan *microwave* dengan daya tertentu, dibiarkan di tempat teduh, hingga pengeringan dengan cara *freeze-drying* (Pirbalouti *et al.*, 2013). Dimana pada penelitian ini, pengeringan daun nilam dilakukan dengan dibiarkan di tempat teduh.

Selain karena proses pengeringan, penyebab lain *yield* minyak nilam dari ekstraksi dengan metode *solvent-free microwave extraction* menggunakan bahan segar lebih besar daripada bahan kering yang direndam seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 yaitu dikarenakan adanya pengaruh kadar air yang terkandung dalam bahan dan jumlah air dalam *distiller*. Hal tersebut dikarenakan ekstraksi dengan bahan segar memiliki jumlah air dalam *distiller* yang jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan bahan kering yang direndam selama 30 menit. Jumlah air dalam *distiller* dengan bahan segar sekitar 50 mL, sedangkan dengan bahan kering sekitar 350 mL. Dengan jumlah air dalam *distiller* yang kecil maka akan mempercepat kenaikan suhu. Dengan kenaikan suhu yang cepat ini, maka akan mempercepat terbukanya kelenjar minyak dan juga menyebabkan laju kenaikan *yield* yang menjadi lebih cepat. Sehingga *yield* yang dihasilkan pada ekstraksi minyak nilam untuk bahan segar dengan metode *solvent-free microwave extraction* dapat menjadi lebih besar apabila dibandingkan dengan bahan kering.



Gambar 4.1. Pengaruh kondisi daun nilam pada berbagai laju aliran udara terhadap *yield* minyak nilam yang diekstraksi dengan metode *microwave air-hydrodistillation* selama 180 menit (daya *microwave* 450 W, ukuran cacah, dan rasio F/S 0,3 g/mL)



Gambar 4.2. Pengaruh kondisi daun nilam pada berbagai ukuran terhadap *yield* yang diekstraksi dengan metode *solvent-free microwave extraction* selama 90 menit (daya *microwave* 300 W dan rasio F/D 0,06 g/mL)

Sedangkan pada metode *microwave air-hydrodistillation* digunakan pelarut dengan volume sebesar 200 mL untuk bahan segar dan kering, sehingga pada metode ini besarnya *yield* yang diperoleh juga dipengaruhi oleh besarnya massa bahan dengan pengaruh kadar air seperti yang telah ditunjukkan pada Tabel 4.1.

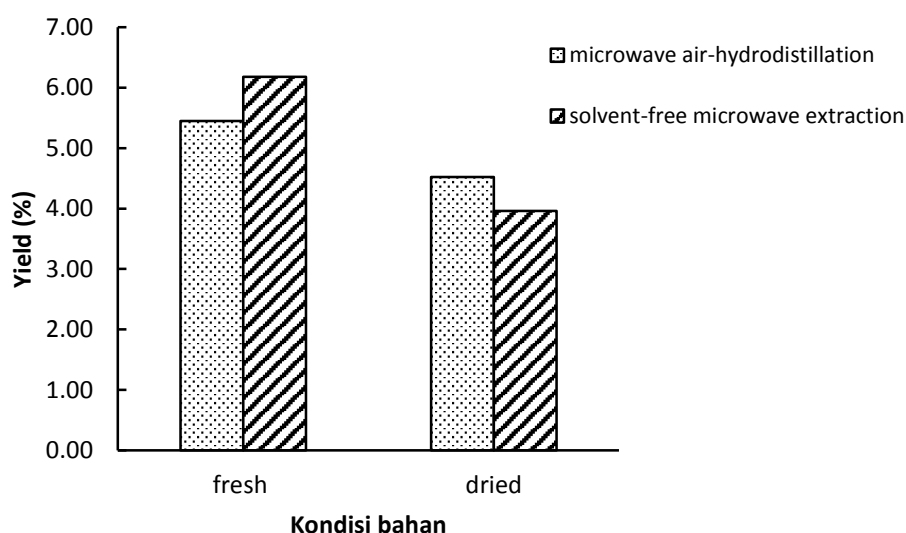
Dimana massa bahan dengan pengaruh kadar air pada bahan segar lebih kecil apabila dibandingkan dengan bahan kering. Hal inilah yang menyebabkan kelenjar minyak pada bahan segar lebih cepat terbuka atau pecah jika dibandingkan dengan bahan kering. Sehingga *yield* yang dihasilkan pada ekstraksi minyak nilam untuk bahan segar dengan metode *microwave air-hydrodistillation* dapat menjadi lebih besar apabila dibandingkan dengan bahan kering. Pengaruh kondisi daun nilam pada berbagai laju aliran udara terhadap *yield* yang diekstraksi dengan metode *microwave air -hydrodistillation* dapat dilihat pada Gambar 4.1.

4.1.2. Pengaruh Metode Ekstraksi terhadap *Yield* Minyak Nilam dan Minyak Gaharu

Pada penelitian ini baik untuk ekstraksi minyak nilam dan minyak gaharu digunakan 2 metode ekstraksi yaitu metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction*. Metode *microwave air-hydrodistillation* adalah metode ekstraksi menggunakan pelarut berupa akuades dengan memanfaatkan gelombang mikro (*microwave*) sebagai pemanas disertai penambahan aliran udara. Sedangkan metode *solvent-free microwave extraction* adalah metode ekstraksi tanpa menggunakan pelarut dengan memanfaatkan gelombang mikro (*microwave*) sebagai pemanas. Dalam metode ini, dilakukan refluks atau *recycle* air yang terkandung dalam bahan ke dalam labu *distiller* menggunakan *clevenger*. Hal ini disebabkan karena apabila tidak ditambahkan atau dilakukan pengembalian air tersebut, maka bahan yang diekstrak akan lebih cepat terbakar. *Recycle* ini juga bertujuan untuk menghindari kehilangan minyak yang masih terikut dalam distilat air sehingga bisa didapatkan *yield* minyak yang maksimal serta membantu proses ekstraksi minyak berlangsung secara kontinyu (Kusuma, 2016).

Berdasarkan Gambar 4.3 diketahui bahwa dengan waktu ekstraksi yang sama, bahan nilam segar yang diekstraksi dengan metode *microwave air-hydrodistillation* menghasilkan *yield* yang lebih kecil apabila dibandingkan dengan metode *solvent-free microwave extraction*. Hal ini dapat disebabkan oleh jumlah air yang terdapat dalam *distiller*. Dimana pada ekstraksi minyak nilam dengan metode *microwave air-hydrodistillation* dilakukan penambahan pelarut, sedangkan pada metode *solvent-free microwave extraction* tidak dilakukan penambahan pelarut. Hal

inilah yang kemudian menyebabkan jumlah air yang terdapat dalam *distiller* pada ekstraksi minyak nilam dengan metode *solvent-free microwave extraction* menjadi lebih kecil apabila dibandingkan dengan metode *microwave air-hydrodistillation*. Sehingga beban ekstraksi pada ekstraksi minyak nilam untuk bahan segar dengan metode *microwave air-hydrodistillation* menjadi lebih besar apabila dibandingkan dengan metode *solvent-free microwave extraction*. Oleh karena itu pada penelitian ini dapat dilihat bahwa pada ekstraksi minyak nilam untuk bahan segar dengan metode *solvent-free microwave extraction* menghasilkan *yield* yang lebih besar apabila dibandingkan dengan metode *microwave air-hydrodistillation*.



Gambar 4.3. Pengaruh metode ekstraksi pada berbagai kondisi daun nilam terhadap *yield* (daya *microwave* 450 W, laju aliran udara 0,5 L/min, rasio F/S 0,30 g/mL, rasio F/D 0,06 g/mL dan ukuran bahan cacah ($0,92 \pm 0,12$ cm untuk bahan segar dan $0,77 \pm 0,21$ cm untuk bahan kering))

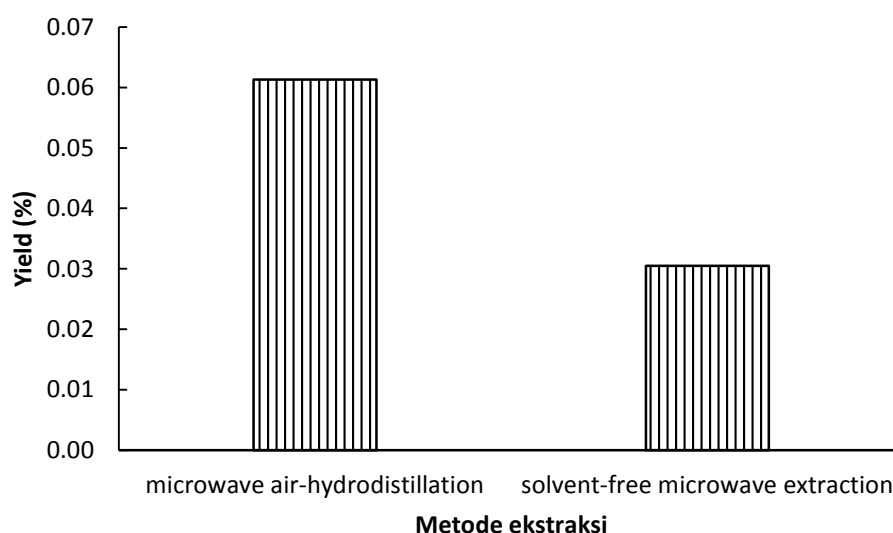
Selain itu berdasarkan Gambar 4.3 juga dapat dilihat bahwa ekstraksi minyak nilam untuk bahan kering dengan metode *microwave air-hydrodistillation* menghasilkan *yield* yang lebih besar apabila dibandingkan dengan metode *solvent-free microwave extraction*. Hal tersebut disebabkan oleh jumlah air dalam *distiller* pada metode *microwave air-hydrodistillation* yang lebih kecil apabila dibandingkan dengan metode *solvent-free microwave extraction* yang menggunakan bahan kering yang telah direndam. Dimana jumlah air dalam *distiller*

pada metode *microwave air-hydrodistillation* adalah sekitar 210 mL, sedangkan pada metode *solvent-free microwave extraction* adalah sekitar 350 mL. Dengan jumlah air dalam *distiller* yang kecil maka akan mempercepat kenaikan suhu. Dengan kenaikan suhu yang cepat ini, maka akan mempercepat terbukanya kelenjar minyak dan juga menyebabkan laju kenaikan *yield* akan menjadi lebih cepat (Golmakani, 2015). Selain itu adanya penambahan aliran udara pada metode *microwave air-hydrodistillation* juga menambah semakin cepatnya laju kenaikan *yield* minyak nilam yang terekstrak. Sehingga *yield* yang dihasilkan pada ekstraksi minyak nilam untuk bahan kering dengan metode *microwave air-hydrodistillation* lebih besar apabila dibandingkan dengan metode *solvent-free microwave extraction*.

Ekstraksi minyak nilam dengan metode *microwave air-hydrodistillation* untuk bahan cacah diperoleh *yield* sebesar 5,4511% untuk bahan segar dan 4,5230% untuk bahan kering. Sedangkan ekstraksi minyak nilam dengan metode *solvent-free microwave extraction* untuk bahan cacah diperoleh *yield* sebesar 6,1815% untuk bahan segar dan 3,9630% untuk bahan kering. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa *yield* yang diperoleh dengan metode *microwave air-hydrodistillation* dari bahan kering terdapat perbedaan yang kurang signifikan jika dibandingkan dengan metode *solvent-free microwave extraction*. Maksud dari kurang signifikan ini adalah ekstraksi dengan metode *microwave air-hydrodistillation* yang memerlukan waktu ekstraksi lebih lama (180 menit) hanya menghasilkan *yield* yang lebih besar 1,14 kali lipat apabila dibandingkan dengan metode *solvent-free microwave extraction* yang memerlukan waktu ekstraksi lebih cepat (90 menit). Sedangkan untuk ekstraksi dengan metode *microwave air-hydrodistillation* dari bahan segar terdapat perbedaan yang cukup signifikan jika dibandingkan dengan metode *solvent-free microwave extraction*. Maksud dari cukup signifikan ini adalah ekstraksi dengan metode *solvent-free microwave extraction* yang memerlukan waktu ekstraksi lebih cepat (90 menit) dapat menghasilkan *yield* yang lebih besar 1,13 kali lipat apabila dibandingkan dengan metode *microwave air-hydrodistillation* yang memerlukan waktu ekstraksi lebih lama (180 menit).

Selanjutnya berdasarkan Gambar 4.4 yaitu pada ekstraksi minyak gaharu menunjukkan bahwa ekstraksi minyak gaharu menggunakan metode *microwave*

air-hydrodistillation dengan massa bahan baku yang sama yaitu 150 g menghasilkan *yield* yang lebih besar dibandingkan dengan menggunakan metode *solvent-free microwave extraction*. *Yield* minyak gaharu yang diperoleh dari metode *microwave air-hydrodistillation* 2 kali lebih besar dibandingkan dengan menggunakan metode *solvent-free microwave extraction*. Dimana dengan metode *microwave air-hydrodistillation* selama 4 jam diperoleh *yield* sebesar 0,0613% sedangkan dengan metode *solvent-free microwave extraction* selama 3 jam sebesar 0,0305%. Hal ini dapat disebabkan karena adanya penambahan aliran udara pada metode *microwave air-hydrodistillation* dapat membantu mempermudah mengeluarkan minyak gaharu yang proses ekstraksinya tergolong sulit dan membutuhkan waktu yang lama. Hal ini berkaitan dengan faktor karakteristik bahan sehingga metode *microwave air-hydrodistillation* ini lebih sesuai pada ekstraksi minyak gaharu.

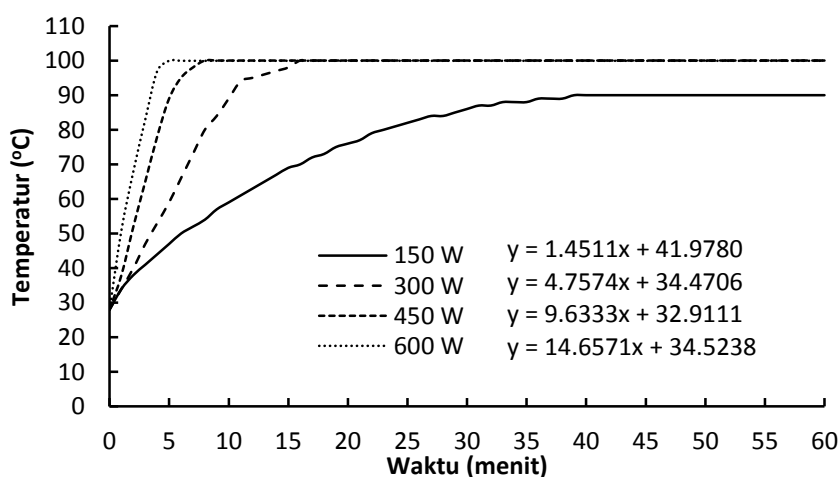


Gambar 4.4. Pengaruh metode ekstraksi terhadap *yield* minyak gaharu (daya *microwave* 600 W, laju aliran udara 1 L/min, rasio F/S 0,75 g/mL, dan rasio F/D 0,15 g/mL)

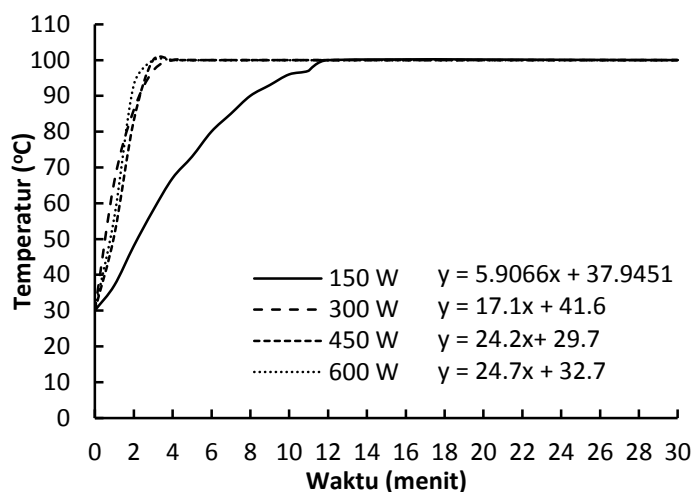
4.1.3. Pengaruh Daya *Microwave* terhadap *Yield* Minyak Nilam

Daya adalah banyaknya energi yang dihantarkan per satuan waktu (Joule/sekon). Daya dalam proses ekstraksi memiliki pengaruh terhadap *yield* minyak nilam yang dihasilkan. Telah diketahui bahwa daya dalam ekstraksi

menggunakan *microwave* akan mengontrol besarnya energi yang akan diterima oleh bahan tanaman untuk diubah menjadi energi panas. Energi panas inilah yang membantu proses keluarnya minyak atsiri dari bahan tanaman atau *sample*. Daya *microwave* yang digunakan dalam proses ekstraksi dengan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* sangat terkait dengan temperatur proses, dimana semakin besar daya yang digunakan maka temperatur sistem pada proses ekstraksi akan semakin cepat mencapai titik didih dari air. Air yang dimaksud berbeda untuk tiap variabel kondisi bahan. Pada ekstraksi dengan metode *microwave air-hydrodistillation* untuk bahan segar terdiri dari pelarut dan air in-situ yang terdapat dalam daun nilam. Sedangkan untuk bahan kering hanya terdapat pelarut. Akan tetapi, untuk metode *solvent-free microwave extraction* dengan bahan segar terdapat air-situ dalam daun nilam. Sedangkan untuk bahan kering terdapat air hasil perendaman bahan selama 30 menit. Dimana air in-situ dalam daun nilam, air hasil perendaman bahan selama 30 menit dan pelarut ini akan dipanaskan dengan *microwave*. Dengan semakin cepatnya mencapai titik didih dari air inilah yang akhirnya menyebabkan meningkatnya perolehan *yield* minyak atsiri hingga mencapai kondisi *insignificant*. Selain itu pada ekstraksi dengan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction*, daya *microwave* juga berperan sebagai *driving force* untuk memecah struktur membran sel tanaman sehingga minyak dapat terdifusi keluar dan larut dalam pelarut. Sehingga penambahan daya *microwave* secara umum akan meningkatkan *yield* dan mempercepat waktu ekstraksi (Liang *et al.*, 2008).



(a)



(b)

Gambar 4.5. Profil waktu-temperatur untuk berbagai daya *microwave* menggunakan bahan nilam kering berukuran utuh menggunakan metode : (a) *microwave air-hydrodistillation* (rasio F/S 0,4 g/mL, laju aliran udara 0,5 L/min) dan (b) *solvent-free microwave extraction* (rasio F/D 0,06 g/mL)

Semakin besar daya *microwave* yang digunakan maka molekul-molekul polar dalam bahan ketika terpapar radiasi *microwave* akan mengalami rotasi yang semakin cepat (gerakan osilasi dan saling bertumbukan) dan menghasilkan energi kalor (panas) yang terdeteksi dari peningkatan temperatur. Dimana dengan semakin besarnya daya *microwave* yang digunakan maka energi yang dihasilkan juga akan semakin besar. Hal ini dapat digambarkan menggunakan persamaan berikut:

$$P = \frac{E}{t} \text{ dimana } E = Q = m.C_p.\Delta T$$

Sehingga dapat dilihat bahwa $P \approx E \approx \Delta T$ (daya sebanding dengan energi dan peningkatan temperatur). Untuk dapat lebih memahami hal tersebut, maka dapat dilihat dari profil waktu-temperatur untuk masing-masing daya yang digunakan dalam proses ekstraksi pada Gambar 4.5.

Kecepatan naiknya temperatur untuk masing-masing daya tersebut dapat diukur dengan cara menentukan *slope* dari bagian linier yang terdapat pada profil temperatur (Golmakani dan Moayyedi, 2015). Dari Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa kenaikan temperatur untuk masing-masing daya yang digunakan dalam proses ekstraksi untuk metode *microwave air-hydrodistillation* adalah sebagai berikut:

- daya 150 W terjadi kenaikan temperatur sebesar 1,4511 °C/min,
- daya 300 W terjadi kenaikan temperatur sebesar 4,7574 °C/min,
- daya 450 W terjadi kenaikan temperatur sebesar 9,6333 °C/min, dan
- daya 600 W terjadi kenaikan temperatur sebesar 14,6571 °C/min.

Sedangkan untuk metode *solvent-free microwave extraction* adalah sebagai berikut:

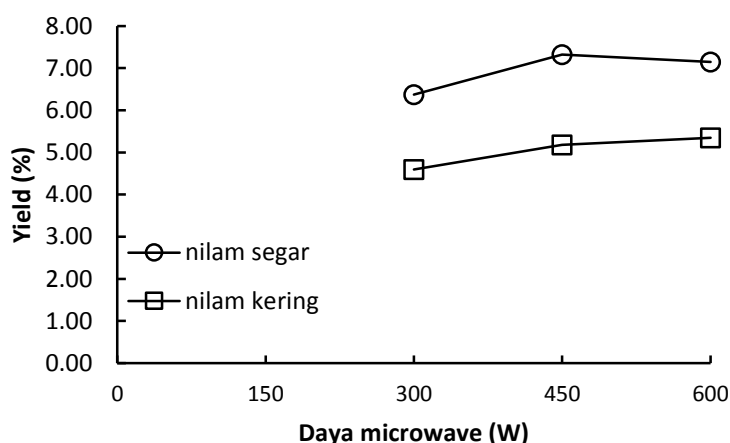
- daya 150 W terjadi kenaikan temperatur sebesar 5,9066 °C/min,
- daya 300 W terjadi kenaikan temperatur sebesar 17,1 °C/min,
- daya 450 W terjadi kenaikan temperatur sebesar 24,2 °C/min, dan
- daya 600 W terjadi kenaikan temperatur sebesar 24,7 °C/min.

Dari data di atas, dapat diketahui bahwa laju kenaikan temperatur dengan metode *microwave air-hydrodistillation* lebih kecil daripada metode *solvent-free microwave extraction*. Hal ini terjadi karena banyaknya air (pelarut) yang terdapat pada metode *microwave air-hydrodistillation* jika dibandingkan dengan metode *solvent-free microwave extraction* yang hanya terdapat air hasil perendaman selama 30 menit. Selain itu juga dikarenakan adanya penambahan aliran udara pada metode *microwave air-hydrodistillation* yang mengakibatkan laju kenaikan temperatur menjadi lebih lambat. Sehingga semakin banyak air dalam *distiller* dan dengan adanya penambahan aliran udara menyebabkan semakin kecil laju kenaikan temperatur atau semakin lama air untuk mencapai titik didihnya. Dan adanya penambahan aliran udara ini ternyata juga dapat menjaga temperatur sehingga tidak terlalu tinggi. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.5 (a), yaitu pada metode *microwave air-hydrodistillation* untuk daya 150 W yang tidak seperti variabel daya lainnya yaitu temperatur konstan pada 90 °C. Hal ini dikarenakan rendahnya daya yang digunakan yang juga disertai penambahan aliran udara sehingga temperatur mengalami kesulitan untuk naik hingga 100 °C.

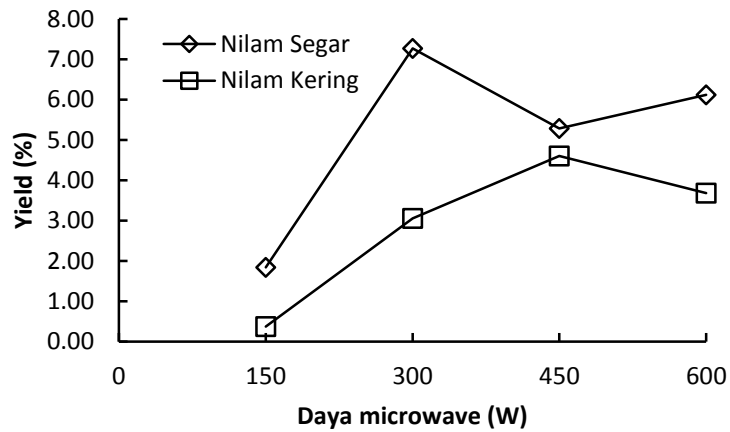
Pada Gambar 4.5 memperlihatkan pengukuran kenaikan suhu untuk berbagai daya *microwave* untuk bahan kering. Untuk mengetahui fenomena yang terjadi secara keseluruhan dapat dilihat berdasarkan pengukuran kadar air pada tiap variabel pada Tabel 4.1. Dari hasil perhitungan kadar air yang telah dilakukan dapat

diketahui bahwa kadar air dari bahan kering yang telah direndam selama 30 menit sedikit lebih besar apabila dibandingkan dengan kadar air dari bahan segar. Oleh karena itu, seharusnya pada ekstraksi dengan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* menggunakan bahan segar akan lebih cepat mencapai titik didih dari air (pelarut dan/atau air in-situ) apabila dibandingkan dengan bahan kering.

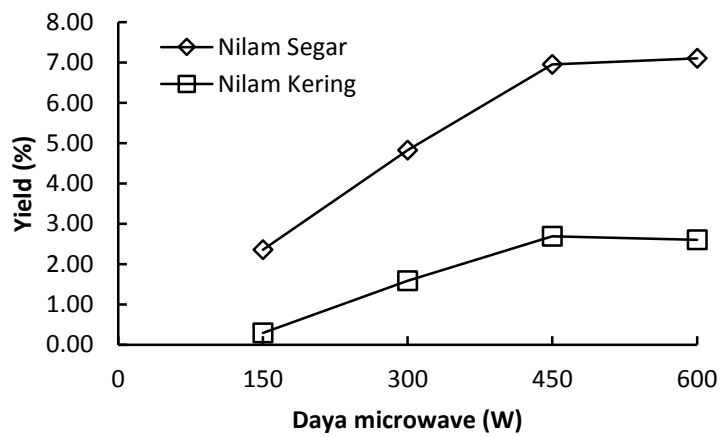
Berdasarkan Gambar 4.5 tersebut secara umum dapat dilihat bahwa daya *microwave* yang paling cepat untuk mengalami kenaikan temperatur adalah 600 W. Namun, dalam proses ekstraksi menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* terdapat faktor karakteristik bahan yang mempengaruhi proses ekstraksi. Dengan adanya faktor karakteristik bahan tersebut, maka ketika menggunakan daya 600 W belum tentu *yield* yang dihasilkan adalah *yield* terbaik. Pada penelitian ini secara umum dapat dilihat bahwa daya *microwave* yang paling baik untuk menghasilkan *yield* minyak nilam yang optimum adalah 450 W.



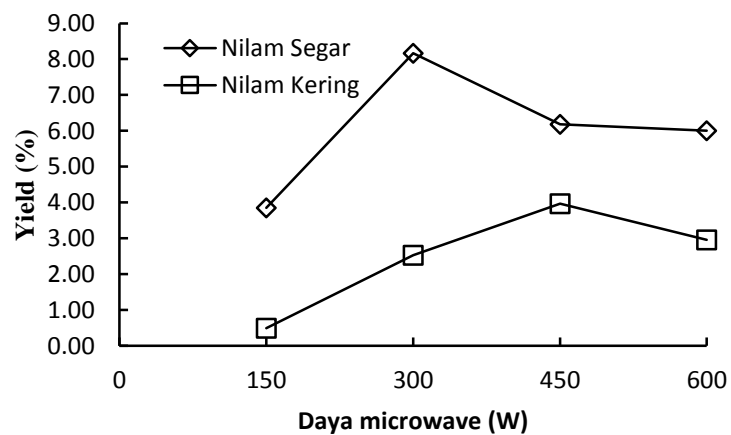
Gambar 4.6. Pengaruh daya *microwave* terhadap *yield* minyak nilam yang diperoleh menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* untuk daun nilam cacah, rasio F/S 0,3 g/mL, dan laju aliran udara 0,5 L/min



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.7. Pengaruh daya *microwave* terhadap *yield* minyak nilam yang diperoleh menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* untuk: (a)

daun utuh (rasio F/D 0,06 g/mL) (b) daun setengah utuh (rasio F/D 0,10 g/mL)
dan (c) daun cacah (rasio F/D 0,06 g/mL)

Berdasarkan Gambar 4.6 di atas, dapat dilihat bahwa semakin tinggi daya yang digunakan *yield* yang diperoleh juga semakin tinggi. Namun pada ekstraksi minyak nilam dengan metode *microwave air-hydrodistillation* untuk bahan segar *yield* tertinggi diperoleh bukan pada daya tertinggi yaitu pada daya 450 W. Sedangkan pada Gambar 4.7 untuk ekstraksi minyak nilam dengan metode *solvent-free microwave extraction* menggunakan bahan segar, *yield* tertinggi diperoleh pada daya 300 W, dan untuk bahan kering yaitu pada daya 450 W. Namun, secara garis besar terlihat bahwa pada ekstraksi minyak nilam baik dengan metode *microwave air-hydrodistillation* maupun *solvent-free microwave extraction*, daya *microwave* yang paling efektif menghasilkan *yield* tertinggi yaitu pada daya 450 W.

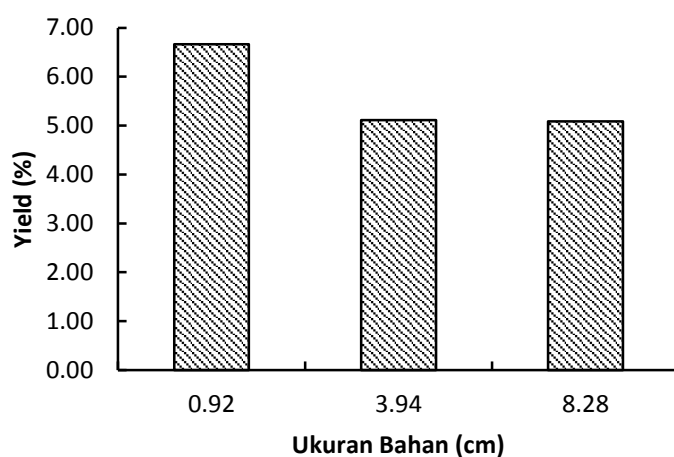
Secara umum juga dapat dilihat bahwa ekstraksi yang dilakukan pada daya 600 W dihasilkan *yield* yang lebih rendah apabila dibandingkan dengan daya 300 W dan/atau 450 W. Salah satu faktor yang mungkin dapat menyebabkan berkurangnya atau menurunnya *yield* pada daya 600 W adalah terjadinya degradasi pada bahan dan komponen minyak atsiri. Hal ini didukung oleh penelitian yang telah dilakukan oleh Song *et al.* (2011). Dimana Song *et al.* (2011) telah melakukan ekstraksi menggunakan metode *microwave-assisted extraction* dari daun ubi jalar segar (*Ipomoea batatas*) berukuran cacah dengan rasio S/F sebesar 30 mL/g selama 90 detik diperoleh *recovery* sebesar 50,1% untuk daya *microwave* 450 W dan 49,8% untuk daya *microwave* 600 W. Berdasarkan data dari hasil penelitian tersebut dapat diketahui bahwa terjadi penurunan *recovery* akibat digunakannya daya *microwave* yang relatif tinggi yaitu 600 W. Dimana penggunaan daya *microwave* yang relatif tinggi tersebut dapat menyebabkan terjadinya degradasi termal pada phenol.

4.1.4. Pengaruh Ukuran Bahan Baku terhadap Yield Minyak Nilam

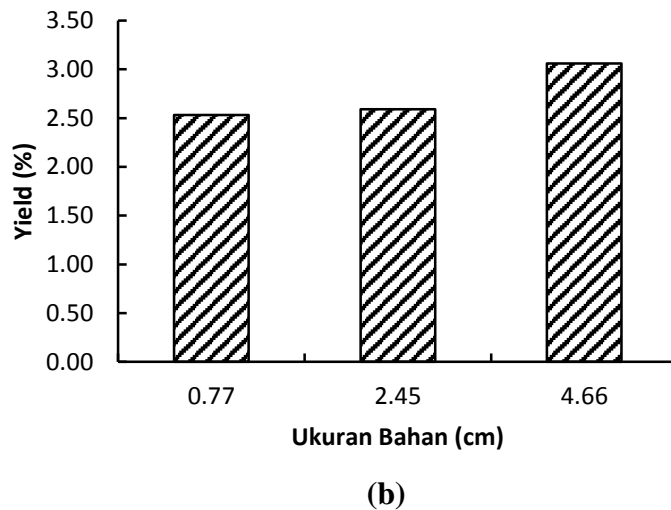
Pada penelitian ini, bahan baku yaitu daun nilam segar dan kering mendapat perlakuan yang berbeda-beda sesuai variabel ukuran, yaitu dibiarkan utuh (berukuran $8,28 \pm 1,03$ cm untuk daun nilam segar dan $4,66 \pm 1,41$ cm untuk daun nilam kering), dipotong menjadi dua bagian (berukuran $3,94 \pm 0,82$ cm untuk daun

nilam segar dan $2,45 \pm 0,56$ cm untuk daun nilam kering), serta dicacah (berukuran $0,92 \pm 0,12$ cm untuk daun nilam segar dan $0,77 \pm 0,21$ cm untuk daun nilam kering). Pemotongan dilakukan karena minyak atsiri di dalam bahan dikelilingi oleh kelenjar minyak, pembuluh-pembuluh, kantong minyak atau rambut glandular, sehingga apabila bahan dibiarkan utuh, minyak atsiri hanya dapat terekstrak apabila uap air berhasil melalui jaringan tanaman dan mendesaknya ke permukaan. Proses ini hanya dapat terjadi karena peristiwa hidrodifusi, suatu fenomena yang penting dalam proses ekstraksi minyak nilam. Proses difusi akan berlangsung sangat lambat apabila bahan dibiarkan dalam keadaan utuh. Hal ini disebabkan karena kecepatan minyak yang terekstrak ditentukan oleh kecepatan difusi. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan proses pemotongan pada daun nilam sehingga dapat menyebabkan kelenjar minyak dapat menjadi terbuka sebanyak mungkin.

Adapun pengaruh ukuran bahan terhadap *yield* minyak nilam yang diekstraksi menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* dapat dilihat pada Gambar 4.8.



(a)



Gambar 4.8. Pengaruh ukuran bahan baku terhadap *yield* minyak nilam yang diperoleh dengan metode *solvent-free microwave extraction* dengan daya *microwave* 300 W untuk: (a) daun nilam segar (rasio F/D 0,08 g/mL) dan (b) daun nilam kering (rasio F/D 0,06 g/mL)

Berdasarkan Gambar 4.8 (a) untuk bahan nilam segar dengan rasio F/D 0,08 terlihat bahwa semakin besar ukuran bahan, maka *yield* akan semakin kecil. Hal ini dikarenakan proses pencacahan dapat menyebabkan kelenjar minyak menjadi terbuka sebanyak mungkin. Selain itu dengan adanya proses pencacahan, ukuran ketebalan bahan tanaman di tempat terjadinya difusi akan berkurang. Sehingga ketika dilakukan ekstraksi, laju penguapan minyak atsiri dari bahan tanaman menjadi cukup cepat (Guenther, 1987). Sebaliknya, berdasarkan Gambar 4.8 (b) untuk bahan nilam kering dengan rasio F/D 0,06 g/mL dengan semakin kecil ukuran bahan, *yield* yang diperoleh semakin kecil. Hal ini disebabkan oleh faktor kepadatan bahan. Faktor kepadatan yaitu massa bahan baku (daun nilam) yang digunakan sudah terlampaui banyak (padat) dan hampir memenuhi labu *distiller*. Dimana hal ini mengakibatkan uap menjadi sulit berpenetrasi dalam bahan untuk membawa molekul minyak atsiri terdifusi keluar dari bahan. Tingkat kepadatan bahan berhubungan erat dengan besar ruangan antar bahan. Kepadatan bahan yang terlalu tinggi dan tidak merata dapat menyebabkan terbentuknya jalur uap “*rat holes*” yang dapat menurunkan *yield* dan mutu minyak atsiri (Guenther, 1990). Selain itu dengan semakin tingginya kepadatan bahan juga akan mengakibatkan laju penyulingan atau

penguapan minyak atsiri akan menjadi semakin lambat. Hal ini dikarenakan terhambatnya ruang gerak uap untuk bisa menguap menuju kondensor, yang akhirnya menyebabkan berkurangnya *yield* minyak nilam yang diperoleh dan menurunkan efisiensi penyulingan.

Berdasarkan hasil penelitian ini dengan metode *solvent-free microwave extraction* untuk bahan nilam segar terjadi penurunan *yield* seiring dengan bertambahnya besarnya ukuran bahan, sedangkan untuk bahan nilam kering terjadi peningkatan *yield* seiring dengan bertambahnya besarnya ukuran bahan. Hal ini didukung dengan penelitian Putri dan Dewi (2016). Dimana pada penelitian Putri dan Dewi (2016) telah dilakukan ekstraksi menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* dengan daun kemangi segar dan daya 380 W serta rasio F/D 0,175 g/mL terjadi penurunan *yield* seiring dengan semakin besarnya ukuran bahan, sehingga ukuran optimum terdapat pada ukuran terkecil. Sebaliknya untuk bahan kemangi kering dengan daya 240 W dan rasio F/S 0,05 g/mL, terjadi peningkatan *yield* seiring dengan semakin besarnya ukuran bahan, sehingga ukuran bahan optimum terdapat pada ukuran terbesar. Hal tersebut juga terjadi pada penelitian ini, dimana untuk bahan nilam segar, *yield* optimumnya berada pada ukuran cacah. Sedangkan untuk bahan nilam kering, *yield* optimumnya berada pada ukuran utuh.

4.1.5. Pengaruh Rasio antara Massa Bahan Baku dengan Volume Solvent (F/S) terhadap Yield Minyak Nilam

Salah satu faktor penting yang mempengaruhi ekstraksi dengan menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* adalah pemilihan pelarut (*solvent*). Pemilihan pelarut yang sesuai dapat membuat proses ekstraksi berjalan lebih efisien. Dalam pemilihan pelarut ini sendiri juga tergantung pada beberapa hal seperti: kelarutan komponen yang akan diekstrak, kemampuan penetrasi dan interaksinya terhadap matriks dari sampel atau bahan, serta konstanta dielektrik (*dielectric constant*) (Chen *et al.*, 2008). Berbeda dengan ekstraksi menggunakan metode konvensional, pada ekstraksi minyak nilam menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* pemilihan pelarut merupakan hal yang penting untuk mendapat *yield* yang optimal. Hal ini disebabkan karena pada ekstraksi minyak nilam menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* pemilihan

pelarut juga perlu mempertimbangkan kapasitas dari pelarut untuk menyerap energi *microwave* dan kemampuan pemanasannya (Routray dan Orsat, 2011; Eskilsson dan Bjourklund, 2000; Mandal *et al.*, 2007; Chan et al., 2011).

Secara umum, kapasitas dari pelarut untuk menyerap energi *microwave* akan tinggi apabila pelarut yang digunakan memiliki nilai konstanta dielektrik (*dielectric constant*) yang tinggi (Spigno dan De Faveri, 2009). Nilai konstanta dielektrik (*dielectric constant*) sendiri menunjukkan kemampuan dari pelarut untuk dapat terpolarisasi oleh medan listrik eksternal dan dapat dianggap sebagai ukuran relatif dari densitas energi *microwave* (Raju, 2003). Selain itu, konstanta dielektrik (*dielectric constant*) juga berperan penting dalam menentukan interaksi antara medan listrik dengan matriks. Sehingga dengan semakin tinggi nilai konstanta dielektrik (*dielectric constant*) yang dimiliki oleh pelarut, maka pelarut tersebut akan semakin baik dalam menyerap energi *microwave*. Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan akuades sebagai pelarut. Pemilihan akuades sebagai pelarut pada penelitian ini juga didasarkan pada hal yang telah dijelaskan sebelumnya yaitu akuades memiliki nilai konstanta dielektrik (*dielectric constant*) yang tinggi. Dimana akuades memiliki nilai konstanta dielektrik (*dielectric constant*) sebesar 80,4 (Metaxas, 1996). Apabila dibandingkan dengan beberapa pelarut lain seperti metanol, etanol, dan heksana, maka akuades dapat dikatakan memiliki nilai konstanta dielektrik (*dielectric constant*) yang lebih tinggi. Nilai konstanta dielektrik (*dielectric constant*) untuk beberapa pelarut dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Nilai konstanta dielektrik (*dielectric constant*) (ϵ') untuk beberapa pelarut pada 2450 MHz dan temperatur kamar (Metaxas, 1996)

Pelarut	<i>Dielectric constant</i> (ϵ')
Akuades	80,4
DMSO ^a	45,0
DMF ^b	37,7
Etilen glikol	37,0
Metanol	32,6
Etanol	24,3
Kloroform	4,8
Toluena	2,4
Heksana	1,9

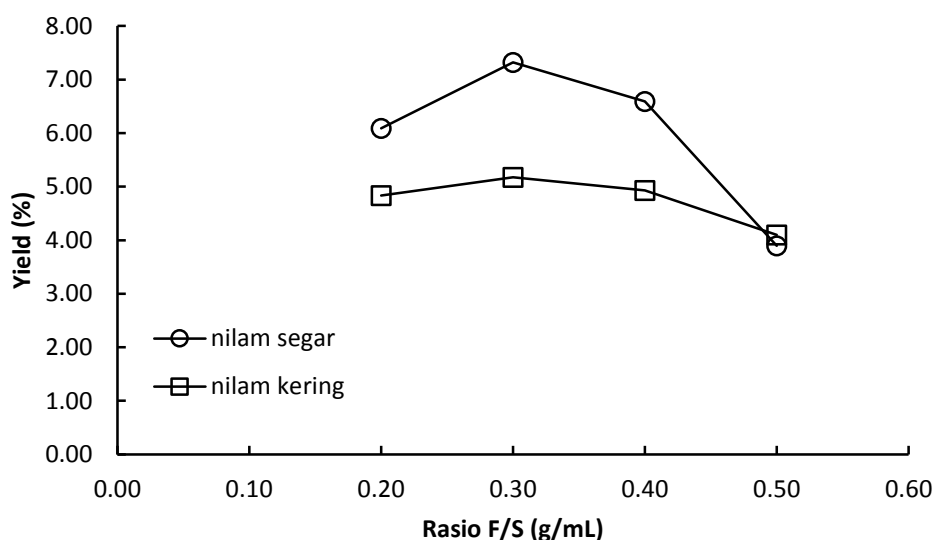
^aDMSO, dimethyl sulfoxide

^bDMF, dimethylformamide

Pada metode *microwave air-hydrodistillation* ini, volume pelarut (akuades) yang digunakan untuk ekstraksi minyak nilam dan minyak gaharu adalah sebanyak 200 mL. Pemilihan volume pelarut (akuades) yang digunakan tersebut didasarkan atas kebutuhan pelarut untuk dapat merendam seluruh bahan yang akan diekstrak serta untuk menghindari terjadinya *bumping*. *Bumping* sendiri merupakan suatu fenomena yang terjadi karena meningkatnya tekanan pada *distiller* akibat dari naiknya temperatur pemanasan secara cepat selama proses radiasi *microwave* berlangsung sehingga melebihi stabilitas bahan (Eskillsson dan Bjourklund, 2000). Selain itu, tujuan dari pemilihan volume pelarut sebanyak 200 mL pada daun nilam dan gaharu adalah untuk meminimalkan penggunaan pelarut. Pada penelitian Kusuma (2016), dilakukan ekstraksi minyak nilam menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dengan rasio massa bahan baku terhadap *volume solvent* sebesar 0,05, 0,10, 0,15, dan 0,20 g/mL dan *volume solvent* sebesar 400 mL. Pada penelitian ini menggunakan *volume solvent* yang lebih kecil daripada penelitian sebelumnya. Dan hal ini menyebabkan rasio massa bahan baku terhadap *volume solvent* untuk ekstraksi minyak nilam yang lebih besar yaitu 0,2, 0,3, 0,4, dan 0,5 g/mL. Dengan rasio antara massa bahan baku dengan *volume solvent* yang semakin besar, maka *volume solvent* yang digunakan akan semakin kecil sehingga akan meminimalkan penggunaan *solvent*. Maka, pada penelitian ini dipelajari tentang pengaruh rasio antara massa bahan baku terhadap *volume solvent*.

Pembahasan mengenai rasio antara bahan baku yang akan diekstrak dengan pelarut dan kapasitas alat destilasi (*distiller*) ini bermanfaat nantinya untuk proses *scale up* alat, yang aplikasinya untuk menentukan perbandingan bahan baku yang akan diekstrak dengan pelarut dan kapasitas volume alat destilasi (ketel suling) yang dapat digunakan agar diperoleh *yield* yang maksimal. Mengingat salah satu faktor yang menyebabkan berkurangnya *yield* minyak atsiri seiring dengan semakin besarnya rasio antara bahan baku yang akan diekstrak dengan pelarut adalah faktor kepadatan bahan, yang merupakan rasio antara massa bahan dan kapasitas volume labu *distiller* yang digunakan. Faktor rasio ini terkait dengan seberapa padatnya (banyaknya) kondisi bahan baku yang dimasukkan dalam labu destilasi (*distiller*), sehingga proses ekstraksi dan penguapan minyak bisa berjalan secara sempurna.

Rasio antara massa bahan baku dengan *volume solvent* merupakan salah satu parameter penting yang perlu dioptimasi. Secara garis besar pada ekstraksi minyak nilam menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* menunjukkan bahwa semakin banyak bahan baku yang digunakan, maka massa minyak nilam yang diperoleh akan semakin meningkat. Namun banyaknya massa bahan baku dan besarnya minyak nilam yang didapat, tidak selalu berkorelasi positif dengan peningkatan *yield* minyak nilam yang diperoleh. Hal ini disebabkan karena *yield* minyak nilam dipengaruhi oleh faktor rasio antara massa minyak nilam yang diperoleh dan massa bahan baku awal. Profil *yield* minyak nilam yang diperoleh terhadap rasio antara massa bahan baku dengan *volume solvent* dari metode *microwave air-hydrodistillation* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Pengaruh rasio antara massa bahan baku dengan *volume solvent* terhadap *yield* minyak nilam yang diperoleh menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* daun nilam segar dan kering berukuran cacah dengan daya 450 W dan laju aliran udara 0,5 L/min

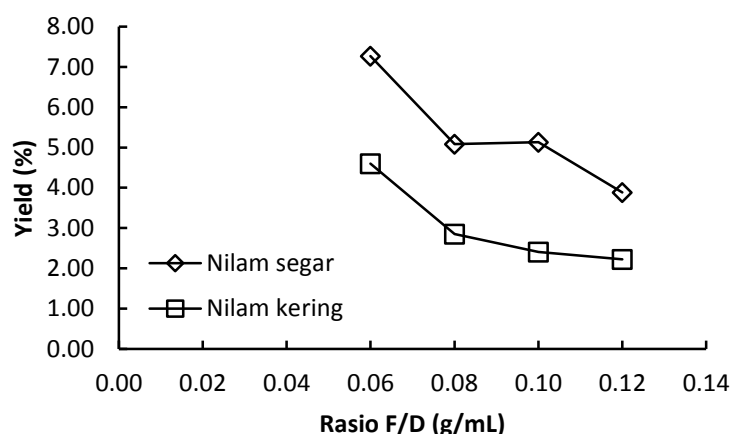
Berdasarkan Gambar 4.9 tersebut terlihat bahwa *yield* minyak nilam yang diperoleh menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dengan laju aliran udara 0,5 L/min semakin kecil dengan semakin naiknya rasio antara massa bahan baku terhadap *volume solvent* (rasio F/S). Adanya penurunan *yield* minyak nilam seiring dengan semakin besarnya rasio F/S yang lebih besar dari 0,3 g/mL

disebabkan karena massa bahan baku (daun nilam) yang digunakan sudah terlampaui banyak (padat) dan hampir memenuhi labu *distiller*. Dimana hal ini mengakibatkan uap menjadi sulit berpenetrasi dalam bahan untuk membawa molekul minyak atsiri terdifusi keluar dari bahan. Tingkat kepadatan bahan berhubungan erat dengan besar ruangan antar bahan. Kepadatan bahan yang terlalu tinggi dan tidak merata dapat menyebabkan terbentuknya jalur uap “*rat holes*” yang dapat menurunkan *yield* dan mutu minyak atsiri (Guenther, 1987). Selain itu dengan semakin besarnya kepadatan bahan juga mengakibatkan laju penyulingan atau penguapan minyak atsiri akan menjadi semakin lambat. Hal ini dikarenakan terhambatnya ruang gerak uap untuk bisa menguap menuju kondensor, yang akhirnya menyebabkan berkurangnya *yield* minyak nilam yang diperoleh dan menurunkan efisiensi penyulingan.

Pada penelitian ini, ekstraksi dengan metode *microwave air-hydrodistillation* dengan laju aliran udara 0,5 L/min dari daun nilam kering dengan massa bahan sebesar 60 gram dan *volume solvent* 200 mL dengan daya *microwave* 450 W selama 2 jam diperoleh *yield* sebesar 4,1949%. Sedangkan pada penelitian terdahulu yaitu oleh Kusuma (2016) juga telah melakukan ekstraksi menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dengan laju aliran udara 0,5 L/min dari daun nilam kering dengan massa bahan sebesar 60 gram dan *volume solvent* 400 mL dengan daya *microwave* 400 W selama 2 jam diperoleh *yield* sebesar 1,8197%. Berdasarkan data di atas diketahui bahwa dengan laju aliran udara yang sama dan daya *microwave* yang tidak berbeda jauh, *yield* hasil penelitian ini lebih besar jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Hal yang mempengaruhi perbedaan besarnya *yield* ini adalah *volume solvent* yang digunakan. Penggunaan *volume solvent* sebesar 200 mL diperoleh *yield* yang lebih besar jika dibandingkan dengan *volume solvent* sebesar 400 mL. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan meminimalkan penggunaan *solvent*, proses ekstraksi minyak nilam dapat berjalan lebih cepat dan menghasilkan *yield* yang lebih besar.

4.1.6. Pengaruh Rasio antara Massa Bahan Baku dengan Volume *Distiller* (F/D) terhadap *Yield* Minyak Nilam

Pada ekstraksi minyak nilam dengan metode *solvent-free microwave extraction*, massa bahan yang digunakan untuk daun nilam segar dan kering adalah 60, 80, 100 dan 120 gram pada masing-masing variabel ukuran. Massa bahan ini akan mempengaruhi rasio massa bahan per *volume distiller*. Adapun pengaruh massa bahan per *volume distiller* pada *yield* dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10. Pengaruh rasio antara massa bahan baku dengan *volume distiller* (F/D) terhadap *yield* minyak nilam yang diperoleh dengan metode *solvent-free microwave extraction* (daun nilam berukuran utuh, daya 300 W untuk daun nilam segar dan daya 450 W untuk daun nilam kering)

Berdasarkan Gambar 4.10 untuk bahan nilam segar berukuran utuh terlihat bahwa semakin besar rasio F/D maka semakin kecil *yield* yang diperoleh. Begitu pula untuk bahan nilam kering berukuran utuh terlihat bahwa semakin besar rasio F/D maka semakin kecil *yield* yang diperoleh. Namun selain itu juga terdapat faktor penataan bahan, dimana penataan bahan dalam labu *distiller* yang kurang teratur dapat menyebabkan terbentuknya jalur uap “*rat holes*” yang akan berpengaruh pada perolehan *yield* minyak atsiri baik dapat meningkatkan *yield* ataupun menurunkan *yield* minyak atsiri (Guenther, 1990). Berdasarkan Gambar 4.10 untuk bahan nilam segar berukuran utuh terjadi sedikit peningkatan *yield* dari rasio F/D 0,08 g/mL ke rasio 0,10 g/mL. Peningkatan *yield* ini terjadi karena pada rasio F/D 0,10 g/mL penataan bahannya lebih teratur jika dibandingkan dengan rasio F/D 0,08 g/mL. Hal

ini yang menyebabkan minyak nilam pada rasio F/D 0,10 g/mL menjadi lebih mudah berdifusi sehingga *yield* yang diperoleh menjadi lebih besar apabila jika dibandingkan dengan rasio F/D 0,08 g/mL.

Yield optimum pada bahan nilam segar dan kering berukuran utuh terdapat pada rasio 0,06 g/mL. Hal ini terjadi karena pada rasio terkecil nilam segar dan kering dapat terekstrak dengan baik dengan tingkat kepadatan yang tidak terlalu tinggi. Faktor kepadatan yaitu massa bahan baku (daun nilam) yang digunakan sudah terlampaui banyak (padat) dan hampir memenuhi labu *distiller*. Dimana hal ini mengakibatkan uap menjadi sulit berpenetrasi dalam bahan untuk membawa molekul minyak atsiri terdifusi keluar dari bahan. Tingkat kepadatan bahan berhubungan erat dengan besar ruangan antar bahan. Kepadatan bahan yang terlalu tinggi dan tidak merata dapat menyebabkan terbentuknya jalur uap “*rat holes*” yang dapat menurunkan *yield* dan mutu minyak atsiri (Guenther, 1990). Selain itu dengan semakin tingginya kepadatan bahan juga akan mengakibatkan laju penyulingan atau penguapan minyak atsiri akan menjadi semakin lambat. Hal ini dikarenakan terhambatnya ruang gerak uap untuk bisa menguap menuju kondensor, yang akhirnya menyebabkan berkurangnya *yield* minyak nilam yang diperoleh dan menurunkan efisiensi penyulingan.

Selain dikarenakan faktor kepadatan bahan, hal ini juga dikarenakan semakin tinggi rasio yang digunakan, maka beban ekstraksi akan semakin berat sehingga bahan tidak terekstrak secara sempurna. Peningkatan jumlah massa bahan yang digunakan ini juga menyebabkan efek pemanasan dielektrik menjadi lebih rendah sehingga menurunkan efek radiasi *microwave* yang mengakibatkan ekstraksi tidak berjalan optimal (Desai *et al.*, 2010).

4.1.7. Pengaruh Penambahan Laju Aliran Udara pada Metode *Microwave Air-Hydrodistillation* terhadap *Yield* Minyak Nilam

Untuk dapat mempelajari pengaruh penambahan aliran udara pada metode *microwave air-hydrodistillation* dan membandingkan *yield* minyak nilam yang diperoleh, maka pada penelitian ini juga dilakukan ekstraksi dengan metode *microwave hydrodistillation*. Metode tersebut seperti halnya metode *microwave air-hydrodistillation* namun tanpa adanya penambahan aliran udara (laju aliran udara 0

L/min) yang juga merupakan variabel laju aliran udara. Pengaruh penambahan aliran udara dapat dilihat pada Gambar 4.1 pada sub bab sebelumnya.

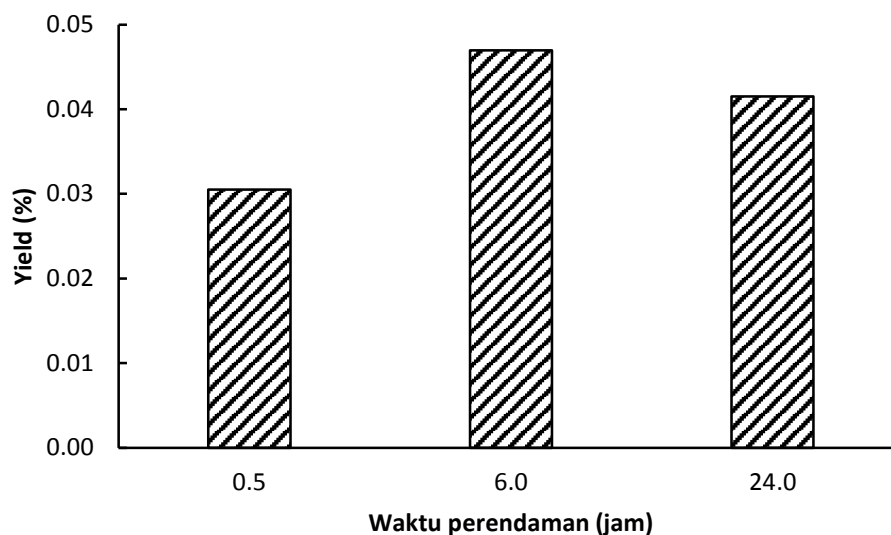
Berdasarkan Gambar 4.1 tersebut, dapat dilihat bahwa adanya penambahan aliran udara dapat menaikkan *yield* minyak nilam yang diperoleh. Baik untuk nilam segar maupun nilam kering, dengan laju aliran udara sebesar 0,5 L/min memperoleh *yield* yang lebih besar dibandingkan dengan laju aliran udara 0 L/min (metode *microwave hydrodistillation*). Hal ini dikarenakan adanya aliran udara yang membantu mengoptimalkan proses pengadukan pada saat ekstraksi. Dimana proses pengadukan ini berpengaruh secara langsung terhadap proses perpindahan massa pada fase pelarut. Hal inilah yang kemudian menyebabkan kesetimbangan antara fase cairan dan uap pada ekstraksi minyak nilam yang diperoleh dengan menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dapat tercapai lebih cepat apabila dibandingkan dengan yang diperoleh menggunakan metode *microwave hydrodistillation* (Chemat dan Cravotto, 2013).

Namun pada laju aliran udara 1,0 L/min baik untuk nilam segar maupun kering, *yield* minyak nilam yang diperoleh menurun. Penurunan *yield* ini dikarenakan dengan adanya laju aliran udara yang lebih besar dapat memungkinkan adanya minyak nilam yang hilang. Selain itu juga dikarenakan dengan semakin besarnya laju udara maka dapat menyebabkan terjadinya penurunan panas pada proses ekstraksi yang kemudian akan menyebabkan semakin kecilnya *yield* minyak yang diperoleh (Wang, et al., 2018).

4.1.8. Pengaruh Waktu Perendaman terhadap *Yield* Minyak Gaharu yang diekstraksi dengan Metode *Solvent-Free Microwave Extraction*

Untuk mengetahui adanya pengaruh waktu perendaman bahan baku sebelum dilakukan proses ekstraksi terhadap *yield* minyak gaharu yang diekstraksi dengan metode *solvent-free microwave extraction*, maka pada penelitian ini digunakan beberapa variasi waktu perendaman dengan air untuk bahan gaharu yaitu selama 0,5, 6, dan 24 jam. Berdasarkan Gambar 4.11, dapat diketahui bahwa *yield* tertinggi diperoleh dengan waktu perendaman bahan selama 6 jam. Padahal berdasarkan penelitian terdahulu, semakin lama waktu perendaman maka *yield* yang dihasilkan akan semakin tinggi (Bayram *et al.*, 2004). Hal tersebut dapat dikarenakan keasaman

dari medium perendam (air) dapat menimbulkan korosi pada dinding sel bahan yang dalam kondisi hipotonik. Sehingga seiring waktu akan menyebabkan kerusakan pada dinding sel tersebut dan selanjutnya dapat melepaskan kandungan minyaknya ke luar. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya penurunan *yield* pada waktu perendaman selama 24 jam (Jok, *et al.*, 2015).

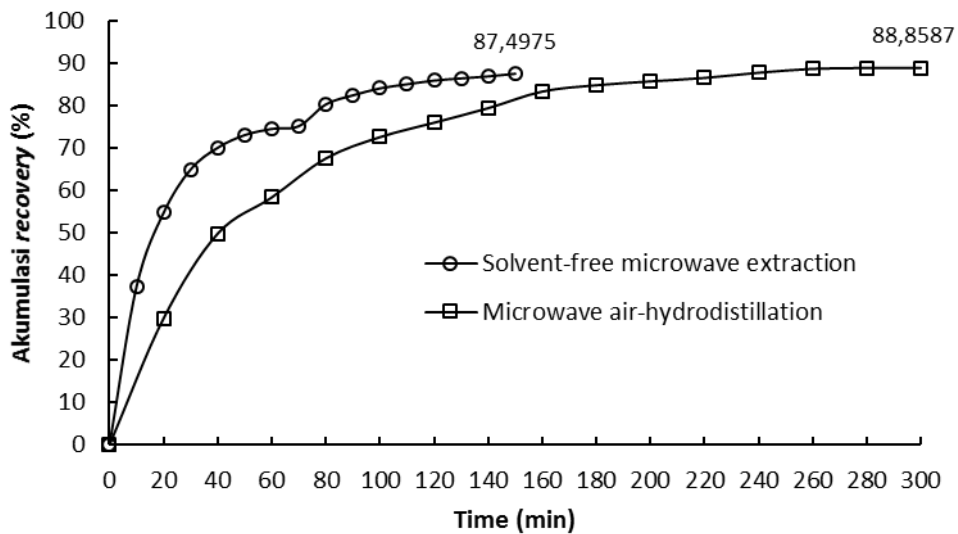


Gambar 4.11. Pengaruh waktu perendaman bahan sebelum ekstraksi minyak gaharu dengan metode *solvent-free microwave extraction* terhadap *yield* minyak gaharu (rasio F/D 0,5 g/mL dan daya microwave 600 W)

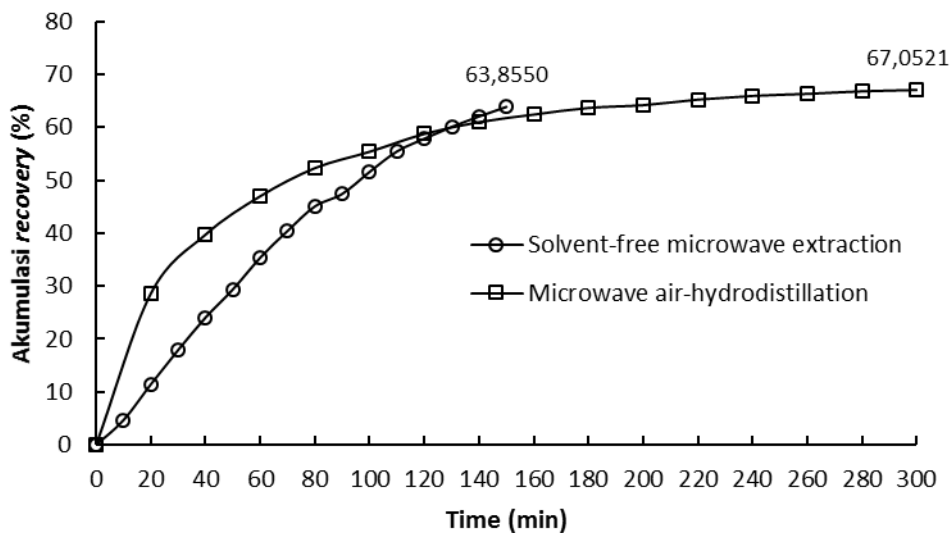
4.2. Perbandingan *Recovery* pada Ekstraksi Minyak Nilam dengan Metode *Microwave Air-Hydrodistillation* dan *Solvent-Free Microwave Extraction*

Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan *recovery* untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penggunaan metode yang berbeda antara metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* dalam mengekstrak sejumlah besar kandungan minyak atsiri yang terdapat dalam daun nilam serta penggunaan kondisi bahan yang berbeda yaitu daun nilam segar dan nilam kering. Nilai akumulasi *recovery* dapat diperoleh dengan cara membandingkan *yield* minyak atsiri (minyak nilam) yang didapatkan dari masing-masing metode yang digunakan dengan *yield* minyak atsiri (minyak nilam) yang didapatkan dari metode Soxhlet. Untuk *yield* minyak nilam dari daun segar yang diperoleh dengan menggunakan metode Soxhlet

memiliki nilai sebesar 8,1003% sedangkan untuk minyak nilam dari daun kering sebesar 8,1653%.



(a)



(b)

Gambar 4.12. Akumulasi recovery minyak nilam dari (a) daun nilam segar dan (b) daun nilam kering yang diperoleh dengan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* (rasio F/S 0,3 g/mL rasio F/D 0,06 g/mL, daya 450 W, dan laju aliran udara 0,5 L/min)

Ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar dan kering dengan menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* menghasilkan akumulasi *recovery* yang berbeda (Gambar 4.12 (a) dan (b)). Nilai akumulasi *recovery* untuk ekstraksi minyak nilam segar dengan metode *microwave air-hydrodistillation* adalah sebesar 88,8587%, sedangkan untuk metode *solvent-free microwave extraction* adalah sebesar 87,4975%. Berdasarkan hal tersebut dapat dikatakan bahwa metode *solvent-free microwave extraction* cukup efektif untuk ekstraksi minyak nilam dari daun segar karena dengan waktu ekstraksi yang lebih singkat menghasilkan akumulasi *recovery* yang hampir sama dengan metode *microwave air-hydrodistillation* dan juga lebih besar dengan waktu ekstraksi yang sama (150 menit). Namun untuk ekstraksi minyak nilam dari daun nilam kering, metode *microwave air-hydrodistillation* masih lebih baik dibandingkan metode *solvent-free microwave extraction* di mana dengan metode *microwave air-hydrodistillation* diperoleh nilai akumulasi *recovery* sebesar 67,0521%, dan dengan metode *solvent-free microwave extraction* sebesar 63,8550%. Hal tersebut disebabkan oleh pengaruh metode dan kondisi bahan yang digunakan (Kusuma dan Mahfud, 2017).

4.3. Pemodelan Kinetika pada Ekstraksi Minyak Nilam dengan Metode *Microwave Air-Hydrodistillation* dan *Solvent-Free Microwave Extraction*

Pada ekstraksi minyak nilam menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction*, dapat dilihat bahwa *yield* minyak nilam yang diperoleh akan meningkat secara cepat di awal dan kemudian akan semakin menurun seiring dengan semakin lamanya waktu ekstraksi. Perubahan *yield* minyak nilam yang diperoleh dapat ditunjukkan dengan cara membuat *plot* antara *yield* dengan waktu ekstraksi. Hal ini selanjutnya dapat digunakan untuk mengetahui serta mempelajari model kinetika pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar dan kering menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* yang pada penelitian ini akan dipelajari model kinetika orde satu dan orde dua.

Untuk mempelajari model kinetika orde satu pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar dan kering yang menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dengan laju aliran udara 0,5 L/min dan *solvent-free microwave*

extraction, maka dapat dilakukan dengan cara membuat *plot* antara $\log (C_s - C_t)$ dengan t , sedangkan untuk model kinetika orde dua dapat dilakukan dengan cara membuat *plot* antara t/C_t dengan t . Selanjutnya dilakukan linierisasi terhadap *plot* tersebut untuk mendapatkan *slope* dan *intercept* yang nantinya dapat digunakan untuk menentukan nilai k_1 dan C_s , begitupun pada model kinetika orde dua untuk menentukan nilai k_2 dan C_s . Untuk menentukan model yang dapat merepresentasikan hasil eksperimen dari ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar dan kering menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction*, maka pada penelitian ini dapat dilihat dari nilai R^2 dan MRPD dari setiap model kinetika yang digunakan. Suatu model kinetika dikatakan dapat merepresentasikan hasil eksperimen dengan baik apabila memiliki nilai R^2 yang mendekati 1 (satu) dan nilai MRPD yang kecil.

Tabel 4.3. Linierisasi model kinetika orde satu dari ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar dan kering yang diperoleh dengan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* (daya *microwave* 450 W; rasio F/S 0,3 g/mL; rasio F/D 0,06 g/mL; laju aliran udara 0,5 L/min)

Metode ekstraksi	Kondisi bahan	Model kinetika			
		Orde satu		Orde dua	
<i>Microwave air-hydrodistillation</i> (0,5 L/min)	Daun nilam segar	<i>Slope</i> *	-0,0098	<i>Slope</i> *	253,65
		k_1 (min ⁻¹)	0,0226	k_2 (mL/g.min)	5,8099
		<i>Intercept</i> *	-2,2768	<i>Intercept</i> *	11074
		C_s (g/mL)	0,0034	C_s (g/mL)	0,0039
		R^2 *	0,9875	R^2 *	0,9981
		MRPD* (%)	5,0433	MRPD* (%)	1,5101
	Daun nilam kering	<i>Slope</i> *	-0,0075	<i>Slope</i> *	65,564
		k_1 (min ⁻¹)	0,0173	k_2 (mL/g.min)	1,9264
		<i>Intercept</i> *	-1,8921	<i>Intercept</i> *	2231,4
		C_s (g/mL)	0,0136	C_s (g/mL)	0,0153

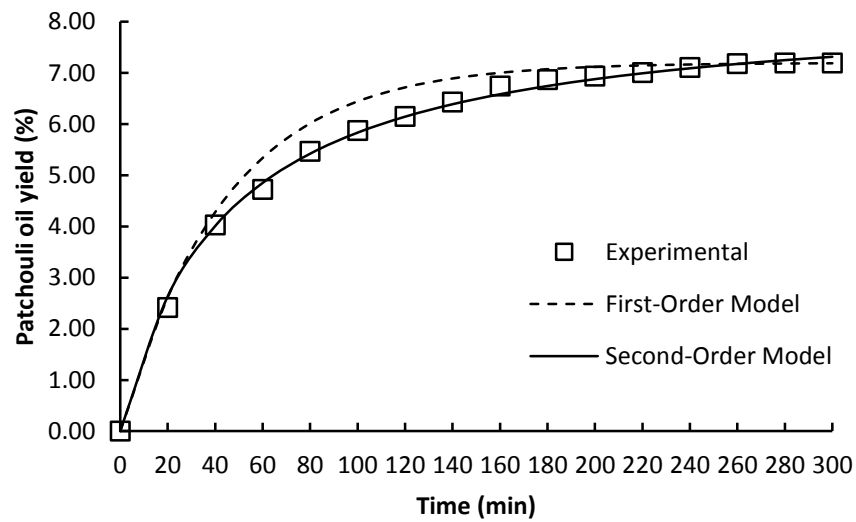
Metode ekstraksi	Kondisi bahan	Model kinetika			
		Orde satu		Orde dua	
		R ² *	0,9845	R ² *	0,9992
		MRPD* (%)	4,2836	MRPD* (%)	0,8836
<i>Solvent-free microwave extraction</i>	Daun nilam segar	<i>Slope</i> *	-0,0138	<i>Slope</i> *	52,71
		k ₁ (min ⁻¹)	0,0318	k ₂ (mL/g.min)	3,2441
		<i>Intercept</i> *	-1,8329	<i>Intercept</i> *	856,44
		C _s (g/mL)	0,0171	C _s (g/mL)	0,0190
		R ² *	0,9637	R ² *	0,9971
		MRPD* (%)	6,6475	MRPD* (%)	1,2116
	Daun nilam kering	<i>Slope</i> *	-0,01	<i>Slope</i> *	17,377
		k ₁ (min ⁻¹)	0,0230	k ₂ (mL/g.min)	0,0392
		<i>Intercept</i> *	-1,707	<i>Intercept</i> *	7711,6
		C _s (g/mL)	0,0135	C _s (g/mL)	0,0575
		R ² *	0,9305	R ² *	0,9891
		MRPD* (%)	39,6488	MRPD* (%)	6,3113

*Nilai diperoleh dari Microsoft Excel®

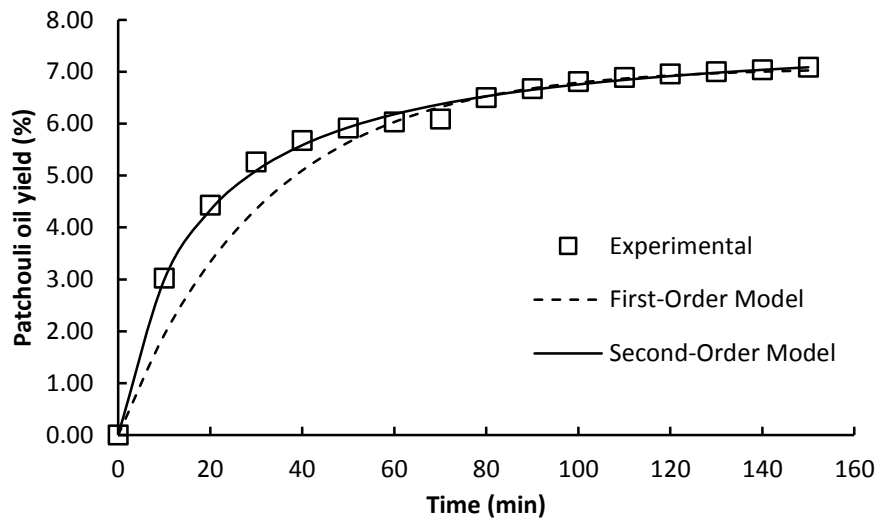
Secara umum dari Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa pada model kinetika orde satu untuk ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar dan kering menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* memiliki nilai koefisien determinasi (R²) yang lebih rendah dan juga nilai MRPD yang lebih besar dibandingkan pada model kinetika orde dua. Hal ini dikarenakan bahwa model kinetika orde satu hanya dapat merepresentasikan secara baik proses yang hanya mempunyai satu mekanisme (Covelo *et al.*, 2004). Sedangkan pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar dan kering dengan menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction*, secara umum terdapat dua mekanisme. Dimana mekanisme yang pertama adalah terjadinya perubahan struktur sel dari matriks yang disebabkan oleh gelombang

elektromagnetik. Dalam hal ini *microwave* berinteraksi dengan molekul air yang terdapat dalam kelenjar dan sistem vaskular dari matriks. Dengan demikian sistem tersebut akan mengalami ekspansi yang dramatis, yang selanjutnya diikuti dengan pecahnya jaringan. Pecahnya jaringan inilah yang kemudian memungkinkan komponen minyak atsiri keluar. Sedangkan mekanisme yang kedua adalah adanya minyak atsiri yang mengandung senyawa organik yang dapat menyerap energi *microwave* secara kuat. Senyawa organik yang terdapat dalam minyak atsiri baik yang memiliki momen dipolar yang tinggi maupun rendah dapat terekstrak dengan komposisi tertentu. Akan tetapi senyawa organik yang terdapat dalam minyak atsiri yang memiliki momen dipolar yang tinggi akan lebih mudah berinteraksi dengan *microwave* dan dapat terekstrak dengan lebih mudah apabila dibandingkan dengan senyawa aromatis yang memiliki momen dipolar yang rendah (Chemat dan Cravotto, 2013).

Sehingga dapat dikatakan bahwa model kinetika orde satu kurang dapat merepresentasikan secara baik hasil eksperimen dari ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar dan kering yang menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction*. Hal ini juga didukung oleh Ho dan McKay (1999) yang menyatakan bahwa tidak semua proses dapat dijelaskan secara baik dengan model kinetika orde satu. Namun, meskipun model kinetika orde satu kurang dapat merepresentasikan secara baik hasil eksperimen dari ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar dan kering yang menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction*, berdasarkan penelitian dari Kusuma (2016) menyatakan bahwa model kinetika orde satu dapat digunakan untuk merepresentasikan hasil eksperimen dari ekstraksi minyak nilam yang menggunakan metode konvensional (*hydrodistillation*) dengan nilai koefisien determinasi (R^2) yang relatif tinggi ($R^2 = 0,9976$). Hal ini dikarenakan pada ekstraksi minyak nilam dengan menggunakan metode konvensional (*hydrodistillation*) hanya terdapat satu mekanisme yang berperan penting yaitu kemampuan dari komponen minyak nilam untuk dapat larut dalam akuades. Dimana hal tersebut sesuai dengan pernyataan dari Covelo *et al.* (2004).

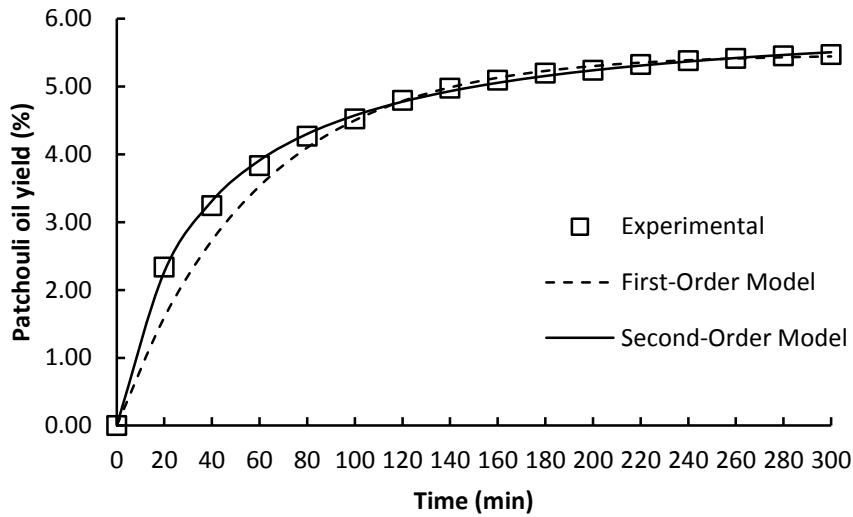


(a)

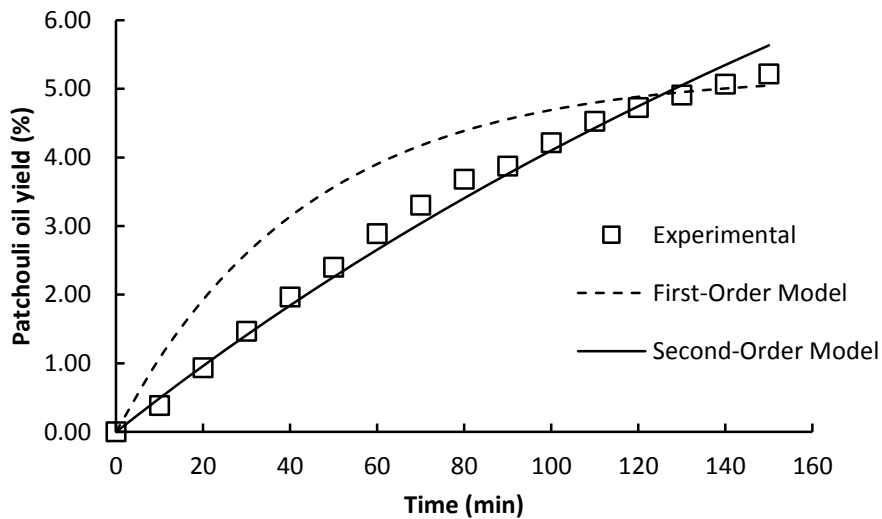


(b)

Gambar 4.13. Perbandingan antara model kinetika orde satu dan orde dua dengan hasil eksperimen pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar yang diperoleh dengan metode: (a) *microwave air-hydrodistillation* (rasio F/S 0,3 g/mL, daya 450 W, dan laju aliran udara 0,5 L/min) dan (b) *solvent-free microwave extraction* (rasio F/D 0,06 g/mL dan daya 450 W)



(a)



(b)

Gambar 4.14. Perbandingan antara model kinetika orde satu dan orde dua dengan hasil eksperimen pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam kering yang diperoleh dengan metode: (a) *microwave air-hydrodistillation* (rasio F/S 0,3 g/mL, daya 450 W, dan laju aliran udara 0,5 L/min) dan (b) *solvent-free microwave extraction* (rasio F/D 0,06 g/mL dan daya 450 W)

Berdasarkan nilai konstanta laju ekstraksi untuk orde satu (k_1) dan kapasitas ekstraksi (C_s) yang telah didapatkan dari model kinetika orde satu (Tabel 4.3), pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar dengan menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* lebih tinggi apabila dibandingkan dengan ekstraksi dengan

menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation*, dan berlaku sebaliknya untuk minyak nilam dari daun nilam kering. Hal tersebut berkaitan dengan faktor pengaruh metode ekstraksi terhadap besarnya *yield* minyak nilam yang dihasilkan seperti yang dijelaskan pada sub-bab sebelumnya. Sedangkan untuk nilai konstanta laju ekstraksi untuk orde dua (k_2) yang telah didapatkan dari model kinetika orde dua, maka dapat dikatakan bahwa nilai konstanta laju ekstraksi untuk orde dua (k_2) pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar dan kering dengan menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* lebih tinggi apabila dibandingkan dengan ekstraksi yang dilakukan dengan menggunakan metode *solvent-free microwave extraction*. Sebaliknya berdasarkan nilai kapasitas ekstraksi (C_s) yang telah didapatkan dari model kinetika orde dua, maka dapat dikatakan bahwa nilai kapasitas ekstraksi (C_s) pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar dan kering dengan menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* lebih tinggi apabila dibandingkan dengan ekstraksi yang dilakukan dengan menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation*.

Meskipun ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar dan kering dengan menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* memiliki nilai konstanta laju ekstraksi untuk orde dua (k_2) yang lebih rendah apabila dibandingkan dengan ekstraksi yang dilakukan dengan menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation*, akan tetapi dengan nilai kapasitas ekstraksi (C_s) pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar dan kering dengan menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan ekstraksi yang dilakukan dengan menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* maka hal tersebut menyebabkan atau menjadi alasan mengapa ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar dan kering dengan menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* lebih cepat apabila dibandingkan dengan ekstraksi yang dilakukan dengan menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation*. Hal tersebut juga didukung oleh persamaan untuk laju ekstraksi (C_t/t) (Persamaan (10) pada Sub-bab 2.9.2) sebagai berikut:

$$\frac{C_t}{t} = \frac{1}{(1/k_2 C_s^2) + (t/C_s)}$$

Dimana dari persamaan tersebut terlihat bahwa nilai kapasitas ekstraksi (C_s) lebih berpengaruh apabila dibandingkan dengan nilai konstanta laju ekstraksi untuk

orde dua (k_2). Sehingga dari model kinetika orde dua tersebut juga dapat digunakan untuk menjelaskan bahwa tidak adanya pelarut pada metode *solvent-free microwave extraction* dapat membuat proses ekstraksi berjalan lebih cepat untuk mengekstrak minyak nilam apabila dibandingkan dengan menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* meskipun telah disertai penambahan aliran udara.

4.4. Optimasi Ekstraksi Minyak Nilam dengan *Response Surface Methodology* (RSM)

Pada penelitian ini dilakukan desain eksperimen terhadap minyak nilam yang diekstraksi dari bahan dengan kondisi segar dan kering menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* dengan perangkat lunak *Design-Expert version 9.0.6.2* (State-Ease Inc., Minneapolis, MN, USA). Hal ini bertujuan untuk mengoptimasi proses ekstraksi minyak nilam agar didapatkan kondisi optimum yang dapat menghasilkan *yield* maksimum.

4.4.1. Optimasi pada Ekstraksi Minyak Nilam dari Daun Nilam Segar menggunakan Metode *Microwave Air-Hydrodistillation* dengan *Response Surface Methodology* (RSM)

Pada optimasi untuk ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dengan *Response Surface Methodology* digunakan empat faktor yaitu daya *microwave* (W), rasio F/S (g/mL), waktu ekstraksi (menit), dan laju aliran udara (L/min) yang dapat dilihat pada Tabel 4.4. Dimana nilai daya *microwave* yang digunakan berkisar antara 300-600 W, rasio F/S berkisar antara 0,20-0,40 g/mL, waktu ekstraksi berkisar antara 60-180 menit, sedangkan laju aliran udara berkisar antara 0-1 L/min.

Tabel 4.4. Faktor pada desain eksperimen pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dengan face-centered central composite design (FCCCD)

Faktor	Satuan	Level		
		Low	Middle	High
A: Microwave power	W	300	450	600
B: F/S ratio	g/mL	0,20	0,30	0,40
C: Extraction time	min	60	120	180
D: Air flowrate	L/min	0	0,5	1

Setelah memasukkan masing-masing nilai faktor pada aplikasi *Design-Expert version 9.0.6.2* (State-Ease Inc., Minneapolis, MN, USA) dengan memilih face-centered central composite design (FCCCD) diperoleh desain eksperimen sebanyak 25 percobaan untuk mendapatkan *yield* minyak nilam yang optimum dari daun nilam segar yang diekstraksi dengan metode *microwave air-hydrodistillation* (Tabel 4.5). Selain itu pada Tabel 4.5 juga dapat dilihat *yield* minyak nilam yang diperoleh dari daun nilam segar yang diekstraksi dengan metode *microwave air-hydrodistillation*.

Tabel 4.5. Hasil dan desain eksperimen pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dengan face-centered central composite design (FCCCD)

Microwave power (W)	F/S ratio (g/mL)	Extraction time (min)	Air flowrate (L/min)	Yield (%)		
				Experimental	Predicted	Residual
300	0.2	180	0	7.4390	6.6011	0.8378
300	0.2	60	0	2.9469	3.4538	-0.5069
300	0.4	60	1	2.6407	2.1381	0.5027
300	0.4	180	0	6.2729	6.5723	-0.2994
300	0.4	60	0	3.2567	3.2459	0.0108
300	0.2	180	1	3.6987	3.9922	-0.2935
300	0.4	180	1	4.5868	4.3412	0.2456
300	0.2	60	1	2.3365	1.9681	0.3684
300	0.3	120	0.5	3.6173	4.4824	-0.8650
450	0.3	120	0.5	6.1519	5.5001	0.6519
450	0.3	120	1	4.1846	5.0740	-0.8894
450	0.3	60	0.5	4.7261	4.7191	0.0070
450	0.4	120	0.5	4.6472	4.8095	-0.1623
450	0.3	180	0.5	6.8683	7.0923	-0.2240
450	0.3	120	0	6.6895	6.0172	0.6723
450	0.2	120	0.5	4.3469	4.4017	-0.0548
600	0.2	60	0	3.4476	3.5850	-0.1374
600	0.3	120	0.5	6.2118	5.5639	0.6479
600	0.4	60	0	4.2915	4.0516	0.2400
600	0.2	60	1	4.1755	3.9296	0.2458
600	0.4	180	0	6.5137	6.7739	-0.2602
600	0.2	180	1	5.4471	5.3497	0.0974
600	0.4	60	1	4.0444	4.7740	-0.7296
600	0.4	180	1	6.8264	6.3730	0.4533
600	0.2	180	0	5.5721	6.1283	-0.5562

Pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dilakukan analisis ANOVA untuk mengidentifikasi faktor-faktor penting yang mempengaruhi *yield* minyak nilam dari daun nilam segar yang diekstraksi menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* pada P-value = 0,05. Hasil analisis ANOVA dapat dilihat pada Tabel 4.6. Faktor penting yang mempengaruhi *yield* minyak nilam dari daun nilam segar yang diekstraksi menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* ditunjukkan oleh P-value kurang dari 0,05. Tabel 4.6 menunjukkan bahwa parameter linier yaitu berupa daya *microwave* (A), waktu ekstraksi (C), dan laju aliran udara (D), serta parameter interaksi yaitu berupa interaksi antara daya *microwave* dan laju aliran udara (AD) memberi efek signifikan terhadap *yield* minyak nilam dari daun nilam segar yang diekstraksi menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* (P-value < 0,05).

Tabel 4.6. Analisis ANOVA pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dengan face-centered central composite design (FCCCD)

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F
Model	45.93	14	3.28	5.7	0.0044
A	5.26	1	5.26	9.14	0.0128
B	0.75	1	0.75	1.3	0.2809
C	25.34	1	25.34	44	< 0.0001
D	4	1	4	6.95	0.0249
A ²	0.58	1	0.58	1.01	0.3396
B ²	2.04	1	2.04	3.54	0.0894
C ²	0.42	1	0.42	0.73	0.4136
D ²	5.28E-03	1	5.28E-03	9.17E-03	0.9256
AB	0.45	1	0.45	0.79	0.3951
AC	0.36	1	0.36	0.63	0.4446
AD	3.35	1	3.35	5.82	0.0366
BC	0.032	1	0.032	0.056	0.8183
BD	0.14	1	0.14	0.25	0.6294
CD	1.26E+00	1	1.26E+00	2.19E+00	0.1697
Residual	5.76	10	0.58		
Cor Total	51.69	24			

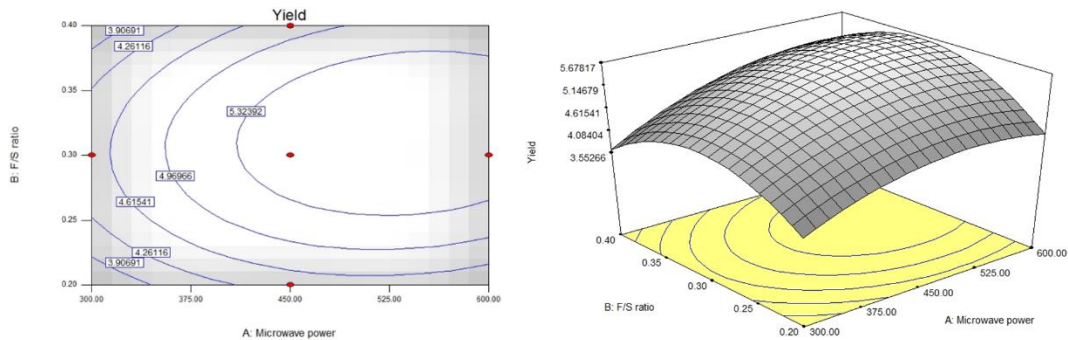
Selain itu, pada optimasi dari ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dengan face-centered central composite design (FCCCD) juga dapat diperoleh persamaan yang dapat digunakan untuk memprediksi *yield* minyak nilam yang diperoleh. Berdasarkan desain eksperimen yang telah dilakukan, *yield* minyak nilam dari daun nilam segar yang diekstraksi menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dapat dilihat pada Persamaan (15).

$$\begin{aligned} Yield = & -7.33553 + 0.01827 * \text{Microwave power} + 48.80897 * \text{F/S ratio} + \\ & 0.00273 * \text{Extraction time} - 3.31429 * \text{Air flowrate} - 0.00002 * \text{Microwave} \\ & \text{power}^2 - 89.44602 * \text{F/S ratio}^2 + 0.00011 * \text{Extraction time}^2 + 0.18214 * \text{Air} \\ & \text{flowrate}^2 + 0.01124 * \text{Microwave power} * \text{F/S ratio} - 0.00002 * \text{Microwave} \\ & \text{power} * \text{Extraction time} + 0.00610 * \text{Microwave power} * \text{Air flowrate} + \\ & 0.00746 * \text{F/S ratio} * \text{Extraction time} + 1.88900 * \text{F/S ratio} * \text{Air flowrate} - \\ & 0.00936 * \text{Extraction time} * \text{Air flowrate} \end{aligned} \quad (15)$$

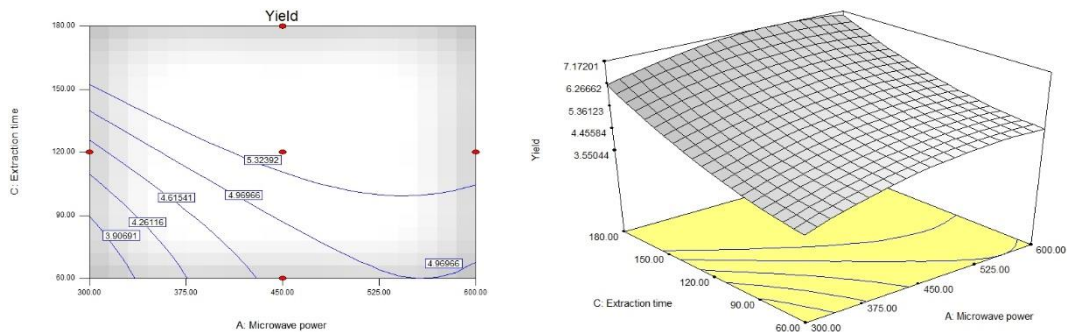
Dalam penelitian ini, untuk menguji pengaruh dari beberapa faktor terhadap respon berupa *yield* minyak nilam dari daun nilam segar yang diekstraksi menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation*, maka dapat dilihat dari representasi grafik yang dikenal sebagai plot kontur. Dimana plot kontur ini diperoleh dari model regresi yang terdapat pada Persamaan (15) dan dapat dilihat pada Gambar 4.15.

Plot kontur yang terdapat pada Gambar 4.15 menunjukkan bahwa kondisi optimum untuk mendapatkan *yield* yang maksimum pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dengan face-centered central composite design (FCCCD) adalah dengan kondisi daya *microwave* 507,87 W, rasio F/S 0,31 g/mL, waktu ekstraksi selama 177,63 menit, dan laju aliran udara 0,19 L/min. Dimana pada kondisi optimum tersebut, diprediksi *yield* maksimum yang diperoleh pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* adalah sebesar 7,4824%. Untuk mengetahui tingkat kesesuaian antara hasil eksperimen dengan model, maka dapat dilihat dari nilai R^2 . Dimana dari pemodelan ini didapatkan nilai R^2 yaitu sebesar 0,8886. Sehingga dapat dikatakan bahwa model yang diperoleh

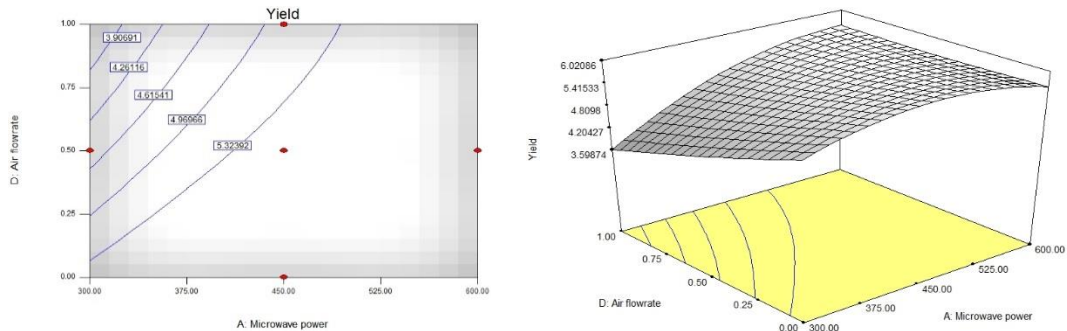
dapat digunakan untuk merepresentasikan hasil eksperimen atau menentukan *yield* pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation*.



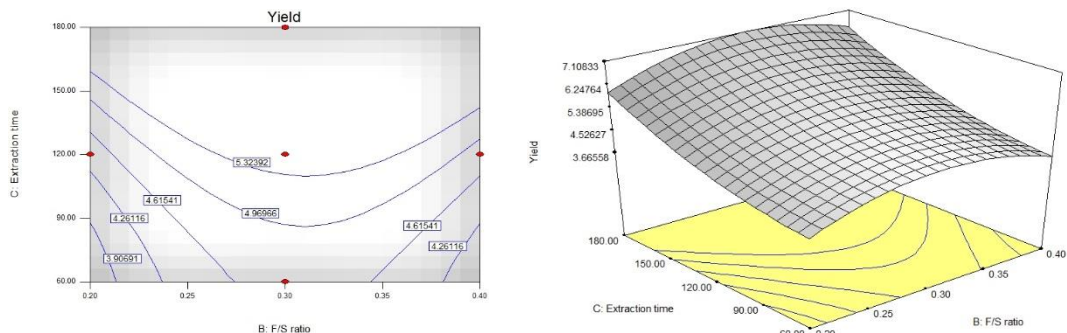
(a) waktu ekstraksi = 120 menit dan laju aliran udara = 0,5 L/min



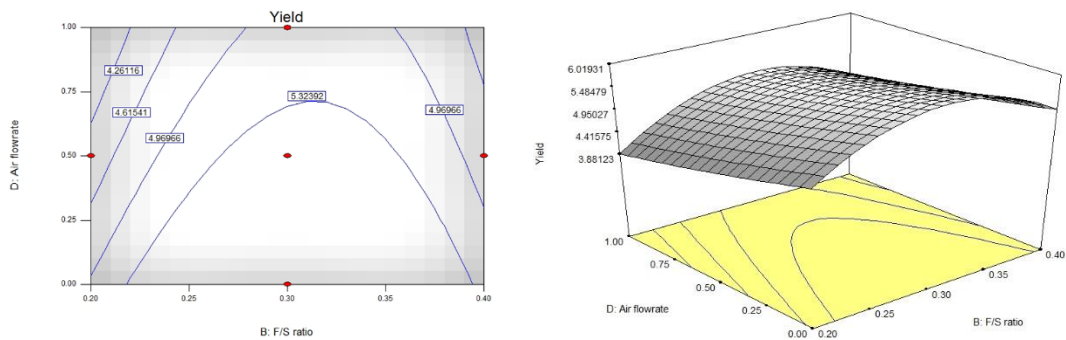
(b) rasio F/S = 0,30 g/mL dan laju aliran udara = 0,5 L/min



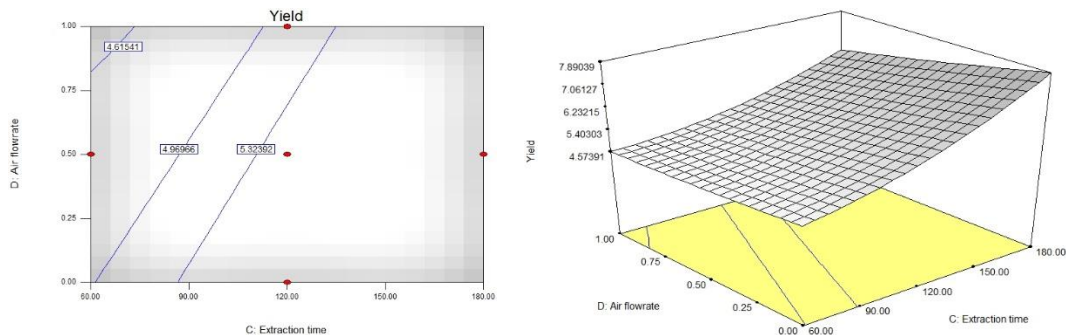
(c) rasio F/S = 0,30 g/mL dan waktu ekstraksi = 120 menit



(d) daya *microwave* = 450 W dan laju aliran udara = 0,5 L/min



(e) daya *microwave* = 450 W dan waktu ekstraksi = 120 menit



(f) daya *microwave* = 450 W dan rasio F/S = 0,30 g/mL

Gambar 4.15. Plot kontur 2D dan 3D yang menunjukkan pengaruh dari daya *microwave* (A), rasio F/S (B), waktu ekstraksi (C), dan laju aliran udara (D) pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dengan face-centered central composite design (FCCCD)

4.4.2. Optimasi pada Ekstraksi Minyak Nilam dari Daun Nilam Kering menggunakan Metode *Microwave Air-Hydrodistillation* dengan *Response Surface Methodology* (RSM)

Pada optimasi untuk ekstraksi minyak nilam dari daun nilam kering menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dengan *Response Surface Methodology* digunakan empat faktor yaitu daya *microwave* (W), rasio F/S (g/mL), waktu ekstraksi (menit), dan laju aliran udara (L/min) yang dapat dilihat pada Table 4.7. Dimana nilai daya *microwave* yang digunakan berkisar antara 300-600 W, rasio F/S berkisar antara 0,20-0,40 g/mL, waktu ekstraksi berkisar antara 60-180 menit, sedangkan laju aliran udara berkisar antara 0-1 L/min.

Tabel 4.7. Faktor pada desain eksperimen pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam kering menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dengan face-centered central composite design (FCCCD)

Faktor	Satuan	Level		
		Low	Middle	High
A: Microwave power	W	300	450	600
B: F/S ratio	g/mL	0,20	0,30	0,40
C: Extraction time	min	60	120	180
D: Air flowrate	L/min	0	0,5	1

Setelah memasukkan masing-masing nilai faktor pada aplikasi *Design-Expert version 9.0.6.2* (State-Ease Inc., Minneapolis, MN, USA) dengan memilih face-centered central composite design (FCCCD) diperoleh desain eksperimen sebanyak 25 percobaan untuk mendapatkan *yield* minyak nilam yang optimum dari daun nilam kering yang diekstraksi dengan metode *microwave air-hydrodistillation* (Tabel 4.8). Selain itu pada Tabel 4.8 juga dapat dilihat *yield* minyak nilam yang diperoleh dari daun nilam kering yang diekstraksi dengan metode *microwave air-hydrodistillation*.

Tabel 4.8. Hasil dan desain eksperimen pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam kering menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dengan face-centered central composite design (FCCCD)

Microwave power (W)	F/D ratio (g/mL)	Extraction time (min)	Yield (%)		
			Experimental	Predicted	Residual
300	0.2	180	0	3.7275	4.0392
300	0.2	60	0	2.4770	2.6941
300	0.4	60	1	2.2566	2.4652
300	0.4	180	0	4.8507	4.5662
300	0.4	60	0	3.0957	2.9598
300	0.2	180	1	4.1622	4.0810
300	0.4	180	1	4.1839	4.2329
300	0.2	60	1	2.8481	2.5746
300	0.3	120	0.5	4.2189	4.2074
450	0.3	120	0.5	4.7978	4.8784
450	0.3	120	1	4.9039	5.0959
450	0.3	60	0.5	3.8367	3.8019
450	0.4	120	0.5	4.2340	4.5573
450	0.3	180	0.5	5.1985	5.2062
450	0.3	120	0	4.7276	4.5086
450	0.2	120	0.5	4.9390	4.5888

Microwave power (W)	F/D ratio (g/mL)	Extraction time (min)	Yield (%)		
			Experimental	Predicted	Residual
600	0.2	60	0	3.1859	3.1780
600	0.3	120	0.5	5.1279	5.1125
600	0.4	60	0	2.9162	2.9630
600	0.2	60	1	4.4357	4.6858
600	0.4	180	0	3.9505	4.2651
600	0.2	180	1	5.7110	5.8880
600	0.4	60	1	4.3664	4.0958
600	0.4	180	1	5.8107	5.5592
600	0.2	180	0	4.4620	4.2189

Pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam kering menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dilakukan analisis ANOVA untuk mengidentifikasi faktor-faktor penting yang mempengaruhi *yield* minyak nilam dari daun nilam kering yang diekstraksi menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* pada P-value = 0,05. Hasil analisis ANOVA dapat dilihat pada Tabel 4.9. Faktor penting yang mempengaruhi *yield* minyak nilam dari daun nilam kering yang diekstraksi menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* ditunjukkan oleh P-value kurang dari 0,05. Tabel 4.9 menunjukkan bahwa parameter linier yaitu berupa daya *microwave* (A), waktu ekstraksi (C), dan laju aliran udara (D), serta parameter interaksi yaitu berupa interaksi antara daya *microwave* dan laju aliran udara (AD) memberi efek signifikan terhadap *yield* minyak nilam dari daun nilam kering yang diekstraksi menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* (P-value < 0,05).

Tabel 4.9. Analisis ANOVA pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam kering menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dengan face-centered central composite design (FCCCD)

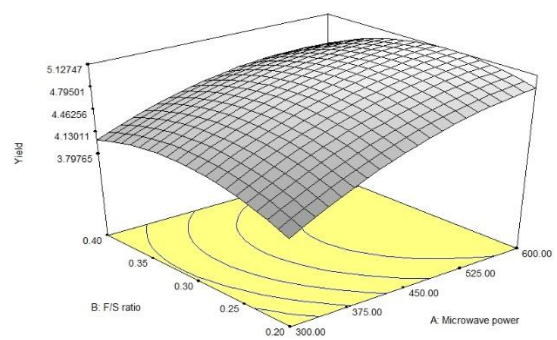
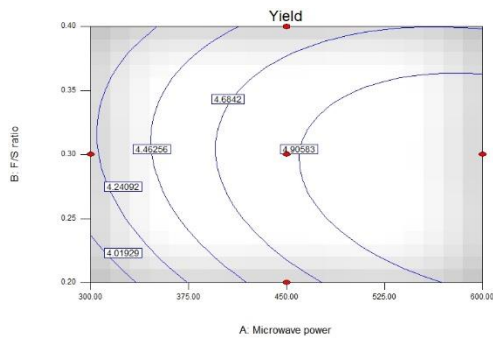
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F
Model	20.78	14	1.48	13.72	0.0001
A	3.69	1	3.69	34.07	0.0002
B	4.47E-03	1	4.47E-03	0.041	0.843
C	8.87	1	8.87	82.02	< 0.0001
D	1.55	1	1.55	14.34	0.0036
A ²	0.12	1	0.12	1.12	0.3141

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F
B ²	0.24	1	0.24	2.19	0.1693
C ²	0.36	1	0.36	3.3	0.0994
D ²	0.015	1	0.015	0.14	0.7196
AB	0.23	1	0.23	2.14	0.1746
AC	0.093	1	0.093	0.86	0.3768
AD	2.65	1	2.65	24.48	0.0006
BC	0.068	1	0.068	0.63	0.4455
BD	0.14	1	0.14	1.3	0.2808
CD	0.026	1	0.026	0.24	0.6345
Residual	1.08	10	0.11		
Cor Total	21.86	24			

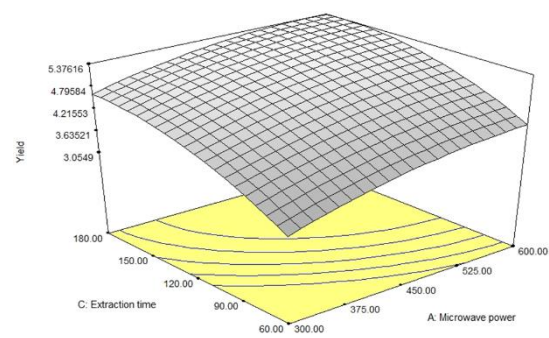
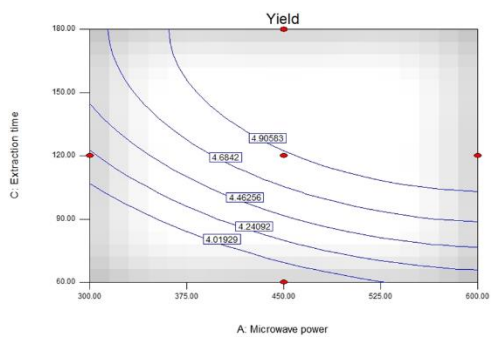
Selain itu, pada optimasi dari ekstraksi minyak nilam dari daun nilam kering menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dengan face-centered central composite design (FCCCD) juga dapat diperoleh persamaan yang dapat digunakan untuk memprediksi *yield* minyak nilam yang diperoleh. Berdasarkan desain eksperimen yang telah dilakukan, *yield* minyak nilam dari daun nilam kering yang diekstraksi menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dapat dilihat pada Persamaan (16).

$$\begin{aligned}
Yield = & -4.54360 + 0.01246 * \text{Microwave power} + 21.39934 * \text{F/S ratio} + \\
& 0.03652 * \text{Extraction time} - 1.14806 * \text{Air flowrate} - 0.00001 * \text{Microwave} \\
& \text{power}^2 - 30.53410 * \text{F/S ratio}^2 - 0.00010 * \text{Extraction time}^2 - 0.30445 * \text{Air} \\
& \text{flowrate}^2 - 0.00801 * \text{Microwave power} * \text{F/S ratio} - 0.00001 * \text{Microwave} \\
& \text{power} * \text{Extraction time} + 0.00542 * \text{Microwave power} * \text{Air flowrate} + \\
& 0.01089 * \text{F/S ratio} * \text{Extraction time} - 1.87506 * \text{F/S ratio} * \text{Air flowrate} + \\
& 0.00134 * \text{Extraction time} * \text{Air flowrate}
\end{aligned}
\tag{16}$$

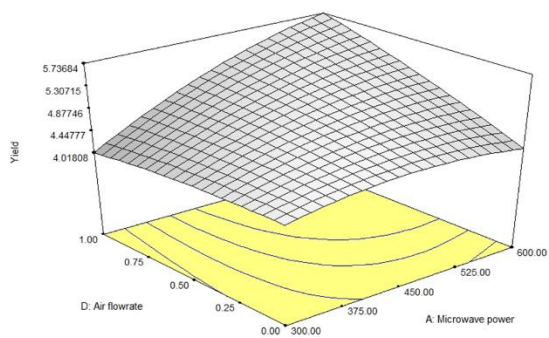
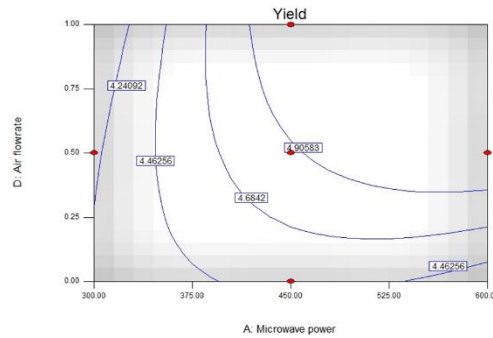
Dalam penelitian ini, untuk menguji pengaruh dari beberapa faktor terhadap respon berupa *yield* minyak nilam dari daun nilam kering yang diekstraksi menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation*, maka dapat dilihat dari representasi grafik yang dikenal sebagai plot kontur. Dimana plot kontur ini diperoleh dari model regresi yang terdapat pada Persamaan (16) dan dapat dilihat pada Gambar 4.16.



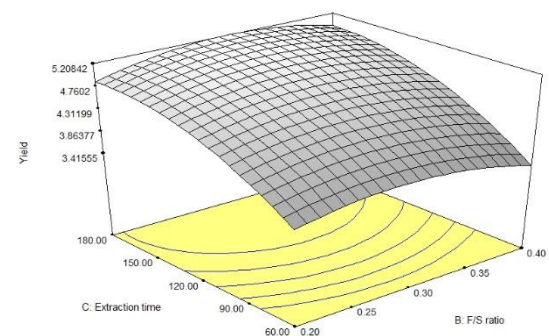
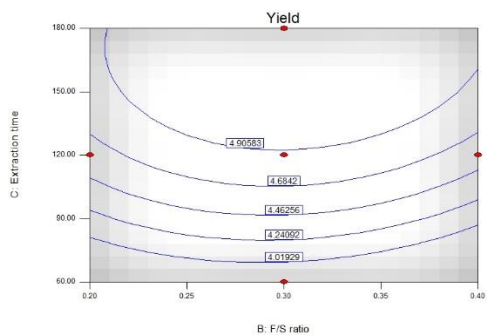
(a) waktu ekstraksi = 120 menit dan laju aliran udara = 0,5 L/min



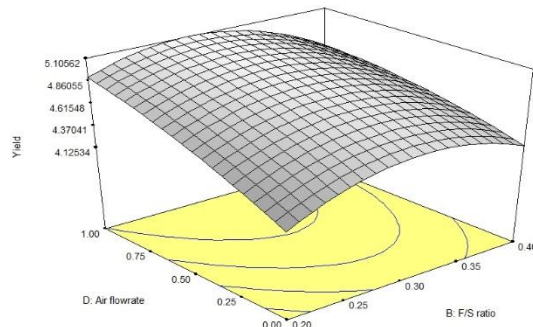
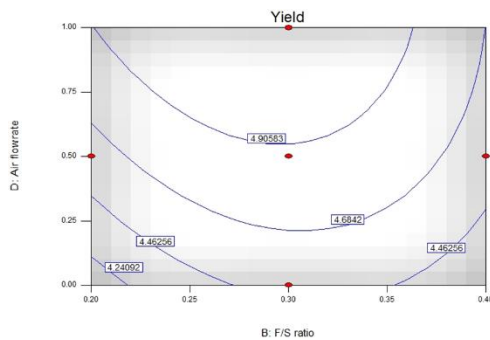
(b) rasio F/S = 0,30 g/mL dan laju aliran udara = 0,5 L/min



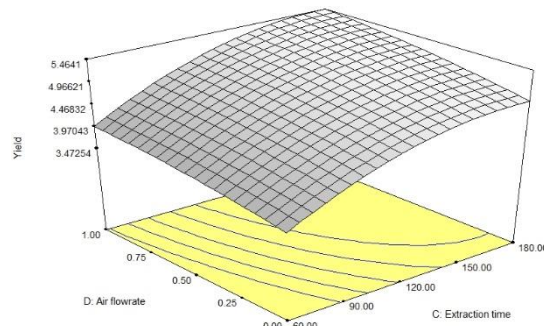
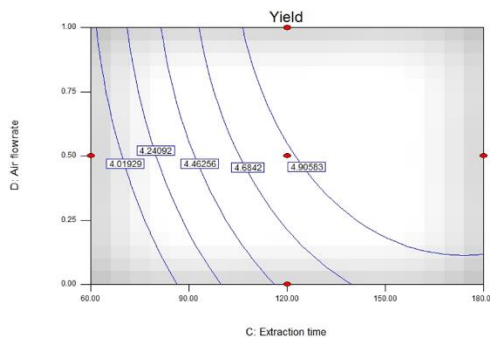
(c) rasio F/S = 0,30 g/mL dan waktu ekstraksi = 120 menit



(d) daya microwave = 450 W dan laju aliran udara = 0,5 L/min



(e) daya *microwave* = 450 W dan waktu ekstraksi = 120 menit



(f) daya *microwave* = 450 W dan rasio F/S = 0,30 g/mL

Gambar 4.16. Plot kontur 2D dan 3D yang menunjukkan pengaruh dari daya *microwave* (A), rasio F/S (B), waktu ekstraksi (C), dan laju aliran udara (D) pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam kering menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dengan face-centered central composite design (FCCCD)

Plot kontur yang terdapat pada Gambar 4.16 menunjukkan bahwa kondisi optimum untuk mendapatkan *yield* yang maksimum pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam kering menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dengan face-centered central composite design (FCCCD) adalah dengan kondisi daya *microwave* 597,31 W, rasio F/S 0,31 g/mL, waktu ekstraksi selama 178,31 menit, dan laju aliran udara 0,85 L/min. Dimana pada kondisi optimum tersebut, diprediksi *yield* maksimum yang diperoleh pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam kering menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* adalah sebesar 5,8196%. Untuk mengetahui tingkat kesesuaian antara hasil eksperimen dengan model, maka dapat dilihat dari nilai R^2 . Dimana dari pemodelan ini didapatkan nilai R^2 yaitu sebesar 0,9505. Sehingga dapat dikatakan bahwa model yang diperoleh dapat digunakan untuk merepresentasikan hasil eksperimen atau menentukan *yield*

pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam kering menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation*.

4.4.3. Optimasi pada Ekstraksi Minyak Nilam dari Daun Nilam Segar menggunakan Metode *Solvent-Free Microwave Extraction* dengan *Response Surface Methodology* (RSM)

Pada optimasi untuk ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* dengan *Response Surface Methodology* digunakan tiga faktor yaitu daya *microwave* (W), rasio F/D (g/mL), dan waktu ekstraksi (menit) yang dapat dilihat pada Table 4.10. Dimana nilai daya *microwave* yang digunakan berkisar antara 150-450 W, rasio F/D berkisar antara 0,04-0,08 g/mL, sedangkan waktu ekstraksi berkisar antara 30-90 menit.

Tabel 4.10. Faktor pada desain eksperimen pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* dengan face-centered central composite design (FCCCD)

Faktor	Satuan	Level		
		Low	Middle	High
A: Microwave power	W	150	300	450
B: F/D ratio	g/mL	0,04	0,06	0,08
C: Extraction time	min	30	60	90

Setelah memasukkan masing-masing nilai faktor pada aplikasi *Design-Expert version 9.0.6.2* (State-Ease Inc., Minneapolis, MN, USA) dengan memilih face-centered central composite design (FCCCD) diperoleh desain eksperimen sebanyak 15 percobaan untuk mendapatkan *yield* minyak nilam yang optimum dari daun nilam segar yang diekstraksi dengan metode *solvent-free microwave extraction* (Tabel 4.11). Selain itu pada Tabel 4.11 juga dapat dilihat *yield* minyak nilam yang diperoleh dari daun nilam segar yang diekstraksi dengan metode *solvent-free microwave extraction*.

Tabel 4.11. Hasil dan desain eksperimen pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* dengan face-centered central composite design (FCCCD)

Microwave power (W)	F/D ratio (g/mL)	Extraction time (min)	Yield (%)		
			Experimental	Predicted	Residual
150	0.04	30	0.2718	0.0942	0.1776
150	0.04	90	2.0557	2.2349	-0.1792
150	0.08	90	1.5821	1.8498	-0.2677
150	0.06	60	2.1649	2.0081	0.1568
150	0.08	30	0.9862	0.8734	0.1128
300	0.06	60	5.3654	5.9581	-0.5927
300	0.06	30	4.3680	4.9569	-0.5889
300	0.06	90	8.1650	7.2795	0.8855
300	0.04	60	5.1979	5.2029	-0.0050
300	0.08	60	5.2047	4.9031	0.3016
450	0.08	90	5.3576	5.6091	-0.2515
450	0.04	30	3.5129	3.3190	0.1938
450	0.04	90	6.8012	6.9878	-0.1867
450	0.06	60	5.6400	5.5001	0.1399
450	0.08	30	3.2099	3.1045	0.1053

Pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* dilakukan analisis ANOVA untuk mengidentifikasi faktor-faktor penting yang mempengaruhi *yield* minyak nilam dari daun nilam segar yang diekstraksi menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* pada P-value = 0,05. Hasil analisis ANOVA dapat dilihat pada Tabel 4.12. Faktor penting yang mempengaruhi *yield* minyak nilam dari daun nilam segar yang diekstraksi menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* ditunjukkan oleh P-value kurang dari 0,05. Tabel 4.12 menunjukkan bahwa parameter linier yaitu berupa daya *microwave* (A) dan waktu ekstraksi (C) serta parameter kuadratik yaitu berupa daya *microwave* (A²) memberi efek signifikan terhadap *yield* minyak nilam dari daun nilam segar yang diekstraksi menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* (P-value < 0,05).

Tabel 4.12. Analisis ANOVA pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* dengan face-centered central composite design (FCCCD)

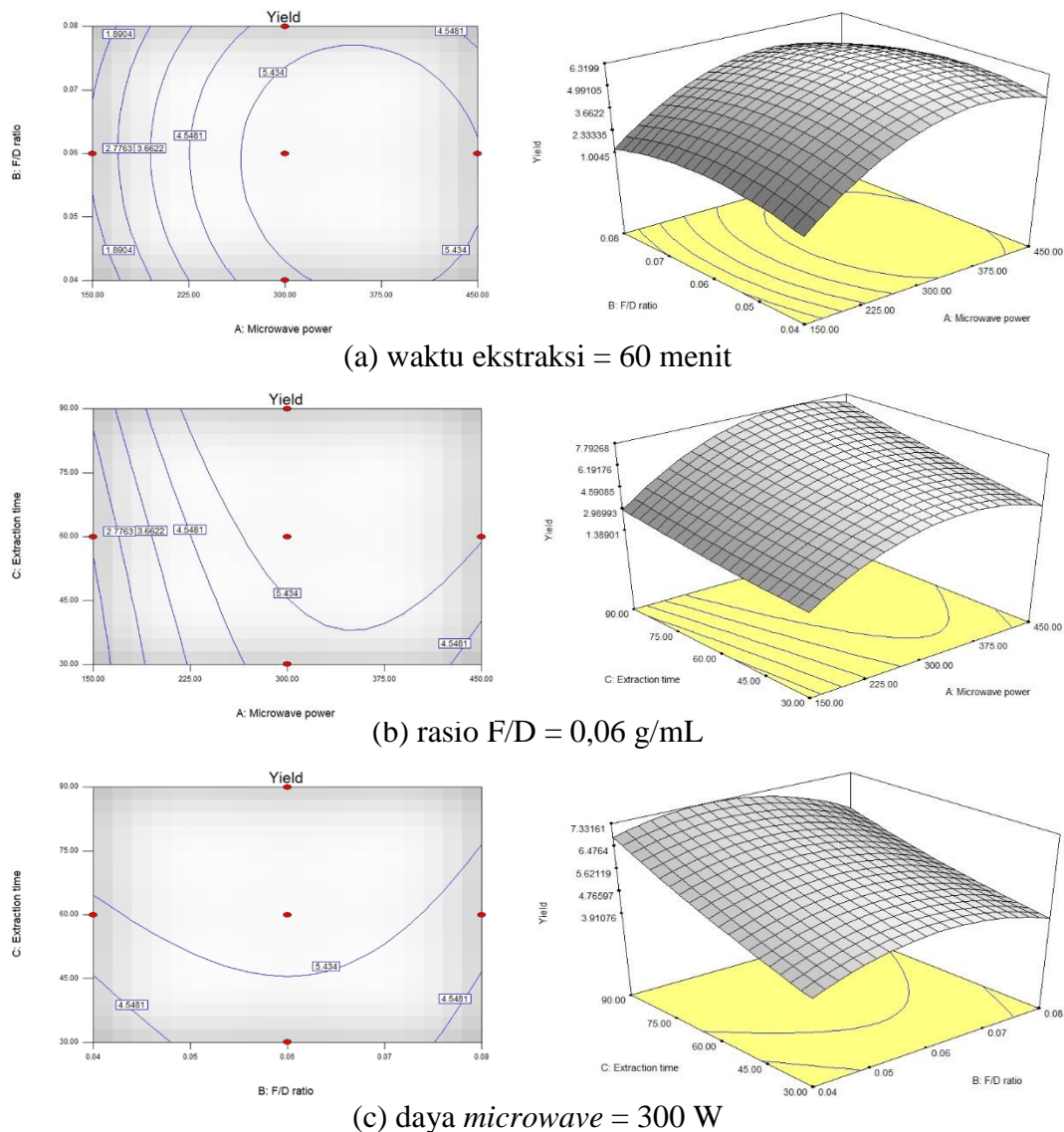
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F
Model	69.54	9	7.73	20.2	0.002
A	30.49	1	30.49	79.72	0.0003
B	0.22	1	0.22	0.59	0.478
C	13.49	1	13.49	35.26	0.0019
A ²	12.49	1	12.49	32.66	0.0023
B ²	2.11	1	2.11	5.51	0.0658
C ²	0.066	1	0.066	0.17	0.6952
AB	0.49	1	0.49	1.29	0.3074
AC	1.17	1	1.17	3.05	0.141
BC	0.68	1	0.68	1.77	0.2406
Residual	1.91	5	0.38		
Cor Total	71.45	14			

Selain itu, pada optimasi dari ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* dengan face-centered central composite design (FCCCD) juga dapat diperoleh persamaan yang dapat digunakan untuk memprediksi *yield* minyak nilam yang diperoleh. Berdasarkan desain eksperimen yang telah dilakukan, *yield* minyak nilam dari daun nilam segar yang diekstraksi menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* dapat dilihat pada Persamaan (17).

$$\begin{aligned}
 \text{Yield} = & -17.43723 + 0.07029 \cdot \text{Microwave power} + 317.98987 \cdot \text{F/D ratio} + \\
 & 0.02100 \cdot \text{Extraction time} - 0.00010 \cdot \text{Microwave power}^2 - 2262.80087 \cdot \text{F/D} \\
 & \text{ratio}^2 + 0.00018 \cdot \text{Extraction time}^2 - 0.08281 \cdot \text{Microwave power} \cdot \text{F/D ratio} + \\
 & 0.00008 \cdot \text{Microwave power} \cdot \text{Extraction time} - 0.48510 \cdot \text{F/D ratio} \cdot \text{Extraction time}
 \end{aligned}
 \quad (17)$$

Dalam penelitian ini, untuk menguji pengaruh dari beberapa faktor terhadap respon berupa *yield* minyak nilam dari daun nilam segar yang diekstraksi menggunakan metode *solvent-free microwave extraction*, maka dapat dilihat dari representasi grafik yang dikenal sebagai plot kontur. Dimana plot kontur ini

diperoleh dari model regresi yang terdapat pada Persamaan (17) dan dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17. Plot kontur 2D dan 3D yang menunjukkan pengaruh dari daya *microwave* (A), rasio F/D (B), dan waktu ekstraksi (C) pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* dengan face-centered central composite design (FCCCD)

Plot kontur yang terdapat pada Gambar 4.17 menunjukkan bahwa kondisi optimum untuk mendapatkan *yield* yang maksimum pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* dengan face-centered central composite design (FCCCD) adalah dengan kondisi

daya *microwave* 374,96 W, rasio F/D 0,05 g/mL, dan waktu ekstraksi selama 90 menit. Dimana pada kondisi optimum tersebut, diprediksi *yield* maksimum yang diperoleh pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* adalah sebesar 7,8809%. Untuk mengetahui tingkat kesesuaian antara hasil eksperimen dengan model, maka dapat dilihat dari nilai R^2 . Dimana dari pemodelan ini didapatkan nilai R^2 yaitu sebesar 0,9732. Sehingga dapat dikatakan bahwa model yang diperoleh dapat digunakan untuk merepresentasikan hasil eksperimen atau menentukan *yield* pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar menggunakan metode *solvent-free microwave extraction*.

4.4.4. Optimasi pada Ekstraksi Minyak Nilam dari Daun Nilam Kering menggunakan Metode *Solvent-Free Microwave Extraction* dengan *Response Surface Methodology* (RSM)

Pada optimasi untuk ekstraksi minyak nilam dari daun nilam kering menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* dengan *Response Surface Methodology* digunakan tiga faktor yaitu daya *microwave* (W), rasio F/D (g/mL), dan waktu ekstraksi (menit) yang dapat dilihat pada Table 4.13. Dimana nilai daya *microwave* yang digunakan berkisar antara 300-600 W, rasio F/D berkisar antara 0,04-0,08 g/mL, sedangkan waktu ekstraksi berkisar antara 30-90 menit.

Tabel 4.13. Faktor pada desain eksperimen pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam kering menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* dengan face-centered central composite design (FCCCD)

Faktor	Satuan	Level		
		Low	Middle	High
A: Microwave power	W	300	450	600
B: F/D ratio	g/mL	0,04	0,06	0,08
C: Extraction time	min	30	60	90

Setelah memasukkan masing-masing nilai faktor pada aplikasi *Design-Expert version 9.0.6.2* (State-Ease Inc., Minneapolis, MN, USA) dengan memilih face-centered central composite design (FCCCD) diperoleh desain eksperimen sebanyak 15 percobaan untuk mendapatkan *yield* minyak nilam yang optimum dari

daun nilam kering yang diekstraksi dengan metode *solvent-free microwave extraction* (Tabel 4.14). Selain itu pada Tabel 4.14 juga dapat dilihat *yield* minyak nilam yang diperoleh dari daun nilam kering yang diekstraksi dengan metode *solvent-free microwave extraction*.

Tabel 4.14. Hasil dan desain eksperimen pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam kering menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* dengan face-centered central composite design (FCCCD)

Microwave power (W)	F/D ratio (g/mL)	Extraction time (min)	Yield (%)		
			Experimental	Predicted	Residual
300	0.04	30	0.7029	0.6858	0.0171
300	0.08	90	2.3456	2.3507	-0.0051
300	0.06	60	2.3352	2.2884	0.0468
300	0.08	30	0.7160	0.5199	0.1961
300	0.04	90	2.0806	2.3350	-0.2544
450	0.06	60	3.6412	3.4973	0.1438
450	0.06	30	2.0543	2.5628	-0.5084
450	0.04	60	3.3587	2.9661	0.3925
450	0.08	60	2.2013	2.6653	-0.4641
450	0.06	90	4.6009	4.1640	0.4369
600	0.04	30	1.9654	1.9420	0.0234
600	0.04	90	3.1358	3.3136	-0.1778
600	0.08	30	1.5974	1.3247	0.2727
600	0.08	90	2.8791	2.8779	0.0012
600	0.06	60	3.0618	3.1801	-0.1183

Pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam kering menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* dilakukan analisis ANOVA untuk mengidentifikasi faktor-faktor penting yang mempengaruhi *yield* minyak nilam dari daun nilam kering yang diekstraksi menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* pada P-value = 0,05. Hasil analisis ANOVA dapat dilihat pada Tabel 4.15. Faktor penting yang mempengaruhi *yield* minyak nilam dari daun nilam kering yang diekstraksi menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* ditunjukkan oleh P-value kurang dari 0,05. Tabel 4.15 menunjukkan bahwa parameter linier yaitu berupa daya *microwave* (A) dan waktu ekstraksi (C), serta parameter kuadratik yaitu berupa daya *microwave* (A²) memberi efek signifikan

terhadap *yield* minyak nilam dari daun nilam kering yang diekstraksi menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* (P-value < 0,05).

Tabel 4.15. Analisis ANOVA pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam kering menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* dengan face-centered central composite design (FCCCD)

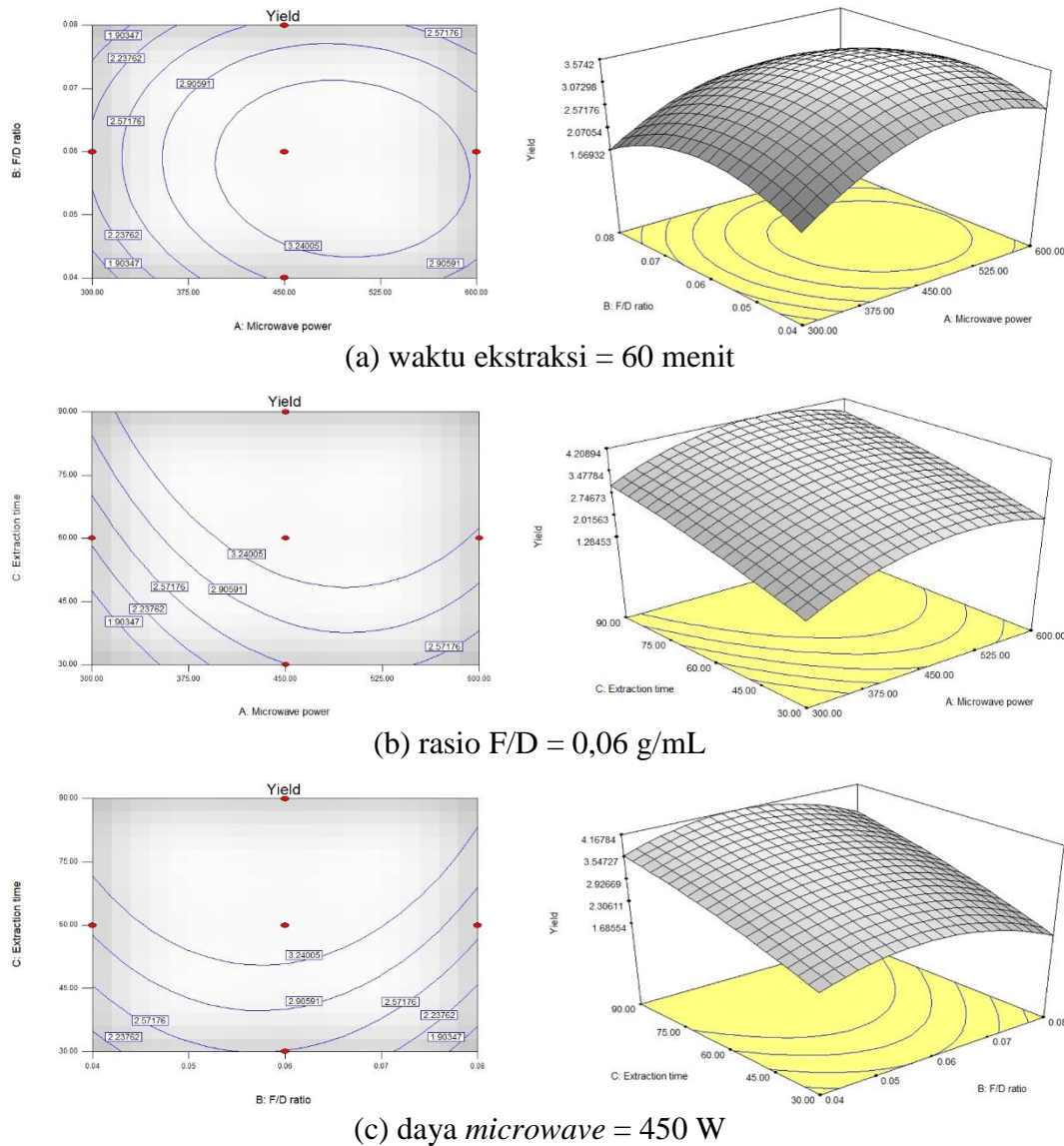
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F
Model	14.23	9	1.58	7.42	0.02
A	1.99	1	1.99	9.33	0.0283
B	0.23	1	0.23	1.06	0.3502
C	6.41	1	6.41	30.07	0.0028
A ²	1.5	1	1.5	7.02	0.0454
B ²	1.19	1	1.19	5.6	0.0642
C ²	0.046	1	0.046	0.22	0.6613
AB	0.1	1	0.1	0.48	0.5201
AC	0.039	1	0.039	0.18	0.6884
BC	0.016	1	0.016	0.077	0.7921
Residual	1.07	5	0.21		
Cor Total	15.3	14			

Selain itu, pada optimasi dari ekstraksi minyak nilam dari daun nilam kering menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* dengan face-centered central composite design (FCCCD) juga dapat diperoleh persamaan yang dapat digunakan untuk memprediksi *yield* minyak nilam yang diperoleh. Berdasarkan desain eksperimen yang telah dilakukan, *yield* minyak nilam dari daun nilam kering yang diekstraksi menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* dapat dilihat pada Persamaan (18).

$$\begin{aligned}
 \text{Yield} = & - 13.68789 + 0.03668 * \text{Microwave power} + 209.34835 * \text{F/D ratio} + \\
 & 0.04695 * \text{Extraction time} - 0.00003 * \text{Microwave power}^2 - 1704.01429 * \text{F/D} \\
 & \text{ratio}^2 - 0.00015 * \text{Extraction time}^2 - 0.03761 * \text{Microwave power} * \text{F/D ratio} - \\
 & 0.00002 * \text{Microwave power} * \text{Extraction time} + 0.07566 * \text{F/D} \\
 & \text{ratio} * \text{Extraction time}
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

Dalam penelitian ini, untuk menguji pengaruh dari beberapa faktor terhadap respon berupa *yield* minyak nilam dari daun nilam kering yang diekstraksi

menggunakan metode *solvent-free microwave extraction*, maka dapat dilihat dari representasi grafik yang dikenal sebagai plot kontur. Dimana plot kontur ini diperoleh dari model regresi yang terdapat pada Persamaan (18) dan dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18. Plot kontur 2D dan 3D yang menunjukkan pengaruh dari daya *microwave* (A), rasio F/D (B), dan waktu ekstraksi (C) pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam kering menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* dengan face-centered central composite design (FCCCD)

Plot kontur yang terdapat pada Gambar 4.18 menunjukkan bahwa kondisi optimum untuk mendapatkan *yield* yang maksimum pada ekstraksi minyak nilam

dari daun nilam kering menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* dengan face-centered central composite design (FCCCD) adalah dengan kondisi daya *microwave* 487,88 W, rasio F/D 0,06 g/mL, dan waktu ekstraksi selama 90 menit. Dimana pada kondisi optimum tersebut, diprediksi *yield* maksimum yang diperoleh pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam kering menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* adalah sebesar 4,2171%. Untuk mengetahui tingkat kesesuaian antara hasil eksperimen dengan model, maka dapat dilihat dari nilai R^2 . Dimana dari pemodelan ini didapatkan nilai R^2 yaitu sebesar 0,9303. Sehingga dapat dikatakan bahwa model yang diperoleh dapat digunakan untuk merepresentasikan hasil eksperimen atau menentukan *yield* pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam kering menggunakan metode *solvent-free microwave extraction*.

4.5. Hasil Analisa Sifat Fisik dan Kimia Minyak Nilam dan Minyak Gaharu yang diperoleh dengan Metode *Microwave Air-Hydrodistillation* dan *Solvent-Free Microwave Extraction*

Dalam penentuan kualitas dari minyak nilam dan minyak gaharu yang diperoleh dengan menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction*, maka perlu dilakukan pengujian terhadap sifat fisik dan kimia dari minyak nilam dan minyak gaharu yang telah diperoleh tersebut. Namun pada penelitian ini tidak bisa dilakukan pengujian sifat fisik untuk minyak gaharu dikarenakan jumlah minyak yang terlalu sedikit. Pengujian terhadap sifat fisik dari minyak nilam yang diperoleh dengan menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* ini dapat dilakukan dengan cara menentukan berat jenis dan kelarutannya.

Sedangkan untuk pengujian terhadap sifat kimia dari minyak nilam dan gaharu dapat dilakukan dengan cara mengidentifikasi komposisi senyawa yang terdapat pada minyak nilam dan minyak gaharu menggunakan analisa GC-MS. Selain dapat digunakan untuk memperoleh gambaran tentang kemurnian dan kualitas dari minyak atsiri, dengan cara membandingkan hasil analisa sifat fisik dan

kimia dengan data standar mutu ini juga dapat digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya pemalsuan terhadap minyak atsiri (Guenther, 1990).

4.5.1. Hasil Analisa Fisik Minyak Nilam yang diperoleh dengan Metode *Microwave Air-Hydrodistillation* dan *Solvent-Free Microwave Extraction*

Berdasarkan hasil analisa sifat fisik dari minyak nilam yang diperoleh menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* yang dapat dilihat pada Tabel 4.16, maka secara umum dapat dikatakan bahwa berat jenis dan kelarutan dalam etanol 90% dari minyak nilam yang diperoleh tersebut telah sesuai dengan SNI 06-2385-2006 dan ISO 3757 : 2002 (E). Kelarutan dalam etanol 90% menyatakan perbandingan volume minyak atsiri dan volume etanol 90% yang dibutuhkan untuk melarutkan minyak atsiri. Minyak nilam hasil penelitian memiliki kelarutan dalam etanol 90% sebesar 1:9. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kualitas minyak nilam hasil penelitian lebih baik karena berdasar Sastrohamidjojo (2004) semakin kecil kelarutan minyak atsiri pada etanol 90% maka kualitas minyak atsirinya semakin baik. Kelarutan dalam etanol 90% yang lebih kecil ini apabila dibandingkan dengan SNI 06-2385-2006 dan ISO 3757 : 2002 (E) disebabkan oleh besarnya kadar *oxygenated compound* yang terdapat pada minyak nilam yang diperoleh. Hal ini dapat diketahui berdasarkan hasil analisa kimia menggunakan GC-MS yang dapat dilihat pada Tabel 4.17. dan Tabel 4.18. *Oxygenated compound* sendiri merupakan komponen yang mudah terlarut dalam alkohol. Sehingga apabila kadar *oxygenated compound* yang terdapat pada minyak nilam semakin tinggi maka dapat menyebabkan minyak nilam yang diperoleh memiliki kelarutan dalam alkohol yang semakin tinggi (semakin mudah larut dalam alkohol dan memiliki kelarutan dalam etanol 90% yang lebih kecil apabila dibandingkan dengan SNI 06-2385-2006 dan ISO 3757 : 2002 (E)).

Tabel 4.16. Hasil analisa properti fisik minyak nilam

Properti Fisik	Metode Ekstraksi	SNI 06-2385-2006	Hasil Penelitian	ISO 3757 : 2002 (E)	Hasil Penelitian
Berat Jenis (g/mL)	MAHD	0,950-0,975 (25°C/25°C)	0,9706±0,0059 (25°C/25°C)	0,952-0,975 (20°C/20°C)	0,9742±0,0059 (20°C/20°C)
	SFME		0,9808±0,0054 (25°C/25°C)		0,9845±0,0054 (20°C/20°C)
Kelarutan (dalam etanol 90%)	MAHD	1:10	1:9	1:10	1:9
	SFME		1:9		1:9

4.5.2. Hasil Analisa GC-MS Minyak Nilam dan Minyak Gaharu yang diperoleh dengan Metode *Microwave Air-Hydrodistillation* dan *Solvent-Free Microwave Extraction*

Untuk mengetahui komponen-komponen yang terkandung dalam suatu minyak atsiri digunakanlah analisa GC-MS (*Gas Chromatography–Mass Spectrometry*). Dengan analisa ini selain digunakan untuk mengetahui komponen yang terkandung dalam minyak atsiri juga dapat digunakan untuk mengetahui kadar untuk setiap komponennya. Untuk minyak nilam yang diperoleh dengan ekstraksi menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* disesuaikan dengan standar kualitas yaitu SNI 06-2385-2006 dan ISO 3757 : 2002 (E)). Sedangkan untuk minyak gaharu dikarenakan belum adanya standar kualitas resmi seperti halnya pada minyak nilam, maka hanya dibandingkan dengan penelitian-penelitian terdahulu.

Pada minyak nilam, untuk standar kualitas SNI 06-2385-2006 yaitu kadar patchouli alcohol sebagai komponen tertinggi yang terkandung dalam minyak nilam minimal sebesar 30% dan ISO 3757 : 2002 (E)) sebesar 27-35%. Dimana komponen patchouli alcohol hasil ekstraksi dengan metode *microwave air-hydrodistillation* adalah sebesar 65,67% untuk bahan segar dan 48,87% untuk bahan kering, sedangkan dengan metode *solvent-free microwave extraction* sebesar 65,85% untuk bahan segar dan 53,68% untuk bahan kering. Kadar patchouli alcohol hasil penelitian ini, sudah memenuhi standar kualitas SNI 06-2385-2006 dan ISO 3757 : 2002 (E)).

Komponen fraksi berat pada minyak nilam adalah komponen yang penting. Hal ini dikarenakan komponen fraksi berat yaitu komponen *oxygenated* lebih berpengaruh pada aroma minyak atsiri daripada komponen lainnya (Ferhat *et al.*, 2007). Komponen *oxygenated* yang paling banyak terkandung dalam minyak nilam adalah patchouli alcohol, maka kadar patchouli alcohol sangat berpengaruh. Kadar patchouli alcohol hasil ekstraksi dengan metode *microwave air-hydrodistillation* adalah sebesar 65,67% untuk bahan segar dan 48,87% untuk bahan kering, sedangkan dengan metode *solvent-free microwave extraction* sebesar 65,85% untuk bahan segar dan 53,68% untuk bahan kering. Kadar patchouli alcohol pada metode *microwave air-hydrodistillation* lebih kecil daripada metode *solvent-free microwave extraction*. Hal ini terjadi disebabkan oleh pengurangan efek thermal dan hydrolytic pada metode *solvent-free microwave extraction* jika dibandingkan dengan metode *microwave air-hydrodistillation* yang membutuhkan waktu dan energi yang besar (Ferhat *et al.*, 2007). Sedangkan untuk kondisi bahan segar kadar patchouli alcohol lebih besar daripada kondisi bahan kering. Hal ini disebabkan oleh pengaruh proses pengeringan pada bahan baku. Proses pengeringan ini dapat menyebabkan adanya komponen minyak atsiri yang menguap (Pirbalouti *et al.*, 2013).

Berdasarkan penelitian dari Kusuma dan Mahfud (2017), dilakukan ekstraksi minyak nilam dengan metode *microwave air-hydrodistillation* dengan bahan kering selama 120 menit dan diperoleh kadar patchouli alcohol sebesar 25,23%. Sedangkan pada penelitian ini, dengan metode dan kondisi bahan baku yang sama yaitu *microwave air-hydrodistillation* dengan kondisi bahan baku kering diperoleh kadar patchouli alcohol yang lebih besar yaitu 48,87%. Kadar patchouli alcohol hasil penelitian yang lebih besar ini disebabkan karena bahan baku (daun nilam) memiliki kualitas yang berbeda dan dipengaruhi oleh kesehatan tanaman, tahap pertumbuhan, habitat termasuk iklim, faktor edapik, dan waktu panen (Figueiredo, *et al.*, 2008; Schmidt, 2010).

Seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.17 dan 4.18, pada minyak nilam yang diekstrak dengan menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dari bahan nilam segar, jumlah komponen yang terkandung sebanyak 14 komponen, sedangkan dari bahan nilam kering sebanyak 11 komponen. Sedangkan pada

minyak nilam yang diekstrak dengan menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* dari bahan nilam segar, jumlah komponen yang terkandung sebanyak 11 komponen, sedangkan dari bahan nilam kering sebanyak 15 komponen. Perbedaan jumlah komponen yang ada pada bahan segar dan kering ini disebabkan oleh kemungkinan adanya reaksi konversi pada minyak atsiri seperti proses isomerisasi, oksidasi, dehidrogenasi, polimerisasi, dan *thermal rearrangements* yang semuanya dapat terjadi oleh karena adanya panas, cahaya, serta udara (Turek *et al.*, 2013).

Komponen-komponen yang terkandung dalam minyak atsiri tersebut dapat digolongkan menjadi beberapa senyawa yaitu *monoterpenes*, *oxygenated monoterpenes*, *sesquiterpenes*, *oxygenated sesquiterpenes*, *other compounds*, dan *other oxygenated compounds*. Dimana *oxygenated compound* lebih berpengaruh pada aroma minyak atsiri dibandingkan dengan senyawa *monoterpene*. Pada penelitian ini, berdasarkan uji GC-MS diketahui jumlah *oxygenated compound* pada minyak nilam segar dengan metode *microwave air-hydrodistillation* sebanyak 66,11% dan nilam kering sebanyak 49,30%. Sedangkan pada minyak nilam dengan metode *solvent-free microwave extraction* kondisi bahan segar jumlah *oxygenated compound* sebesar 77,12% dan pada kondisi kering sebesar 58,33%. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan metode *solvent-free microwave extraction*, minyak nilam yang dihasilkan memiliki keunggulan yaitu memiliki kadar *oxygenated compound* lebih besar sehingga aroma minyak yang dihasilkan lebih baik. Beberapa hal yang mempengaruhi kadar *oxygenated compound* yaitu :

- terjadi pengurangan efek thermal dan hydrolytic pada metode *solvent-free microwave extraction* jika dibandingkan dengan metode *microwave air-hydrodistillation* yang membutuhkan waktu dan energi yang besar (Ferhat *et al.*, 2007)
- karakteristik bahan (Figueiredo, *et al.*, 2008; Schmidt, 2010)

Berdasarkan hasil penelitian, *yield* yang diperoleh dengan metode *microwave air-hydrodistillation* dengan bahan segar sebesar 7,4561% dan untuk bahan kering sebesar 5,6065%. Sedangkan dengan metode *solvent-free microwave extraction* dengan bahan segar diperoleh *yield* sebesar 7,2705% dan untuk bahan kering sebesar 4,6009%. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan metode *solvent-free microwave extraction* dalam ekstraksi minyak nilam

memiliki keunggulan yaitu dapat memperoleh *yield* yang lebih tinggi dan juga aroma minyak yang dihasilkan lebih baik jika dibandingkan dengan metode *microwave air-hydrodistillation*.

Selanjutnya berdasarkan hasil analisa GC-MS untuk komposisi minyak gaharu yang diekstraksi dengan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* pada Tabel 4.19, dapat diketahui bahwa jumlah komponen yang terdapat pada minyak gaharu dengan metode *microwave air-hydrodistillation* sebanyak 22 komponen sedangkan dengan metode *solvent-free microwave extraction* sebanyak 29 komponen. Komponen-komponen tersebut terdiri dari golongan *monoterpenes*, *oxygenated monoterpenes*, *sesquiterpenes*, *oxygenated sesquiterpenes*, *other compounds*, dan *other oxygenated compounds*. Untuk minyak gaharu yang diperoleh dengan metode *microwave air-hydrodistillation* memiliki komponen tertinggi yaitu γ -Gurjunene sebesar 23,93%. Sedangkan dengan metode *solvent-free microwave extraction*, komponen tertinggi yang terkandung dalam minyak gaharu yaitu Aromadendrene sebesar 15,95%. Komponen-komponen tertinggi tersebut juga terdapat pada penelitian terdahulu yaitu untuk γ -Gurjunene sebesar 1,479%, sedangkan untuk Aromadendrene sebesar 1,49%. Oleh karena itu, minyak gaharu yang diekstraksi dengan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* pada penelitian ini telah sesuai dengan penelitian terdahulu yaitu dari penelitian Ahmaed, D. T. *et al.*, (2017), dimana hingga saat ini belum adanya standar resmi untuk minyak gaharu.

Tabel 4.17. Komponen-komponen yang terkandung dalam minyak nilam yang diekstraksi dengan metode *microwave air-hydrodistillation*, rasio F/S 0,3 g/mL, daun cacah, daya 600 W, dan laju aliran udara 0,5 L/min berdasarkan analisa GC-

MS

No.	Compound	Segar		Kering	
		R.T. (min)	% Area	R.T. (min)	% Area
	<i>Sesquiterpenes</i>				
1	β -Patchoulene	8,143	0,81	8,138	1,64
2	β -Elemene	8,238	0,52	8,238	0,91
3	Caryophyllene	8,814	1,24	8,809	1,99

No.	Compound	Segar		Kering	
		R.T. (min)	% Area	R.T. (min)	% Area
4	α -Guaiene	9,089	6,77	9,084	12,34
5	Seychellene	9,348	5,42	9,343	7,95
6	Viridiflorene	-	-	9,608	3,48
7	α -Patchoulene	9,608	3,49	-	-
8	Patchoulene	9,735	0,68	9,677	2,26
9	Aciphyllene	10,459	1,39	10,459	2,14
10	δ -Guaiene	10,639	7,87	-	-
11	7,8-Dihydroxy-4,5-dimethyl-3,4-dihydronaphthalen-1(2H)-one	12,368	0,57	-	-
12	β -Caryophyllene	13,077	1,18	-	-
13	β -Humulene	16,002	3,95	10,634	18,00
14	<i>Oxygenated sesquiterpenes</i> Patchouli alcohol	16,324	65,67	16,287	48,87
15	<i>Other oxygenated compounds</i> Ethyl chrysanthemumate	8,693	0,44	-	-
16	m-Aminobenzyl alcohol	-	-	8,693	0,43
<i>Sesquiterpenes</i>			33,89		50,71
<i>Oxygenated sesquiterpenes</i>			65,67		48,87
<i>Other oxygenated compounds</i>			0,44		0,43
<i>Yield (%)</i>			7,4561		5,6065

Tabel 4.18 Komponen-komponen yang terkandung dalam minyak nilam yang diekstraksi dengan metode *solvent-free microwave extraction*, rasio F/D 0,06 g/mL, daun utuh, daya 300 W untuk bahan segar dan daya 450 W untuk bahan kering berdasarkan analisa GC-MS

No.	Compound	Segar		Kering	
		R.T. (min)	% Area	R.T. (min)	% Area
1	<i>Sesquiterpenes</i> 4,7-Methanoazulene,1,2,3,4,5,6,7,8-octahydro-1,4,9,9-tetramethyl-, [1s-(1 α ,4 α ,7 α)]-	-	-	14,55	1,70
2	β -Elemene	-	-	14,70	0,50
3	trans-Caryophyllene	-	-	15,08	2,18
4	α -Guaiene	15,29	3,13	15,37	11,26
5	Seychellene	15,39	4,89	15,44	5,00

No.	Compound	Segar		Kering	
		R.T. (min)	% Area	R.T. (min)	% Area
6	α -Patcoullene	15,56	3,45	15,61	6,81
7	γ -Himachalene	-	-	15,81	0,63
8	Caryophyllene-(II)	-	-	16,10	2,41
9	Azulene,1,2,3,5,6,7,8,8a-octahydro-1,4,dimethyl-7-(1-methylethenyl)-,[1s-(1 α ,7 α ,8 α . β)]-	16,16	3,17	16,23	10,75
Oxygenated sesquiterpenes					
10	Caryophyllene oxide	17,15	1,94	17,03	0,97
11	Patchouli alcohol	18,15	65,85	18,29	53,68
Other compounds					
12	Cyclopentane, methyl-	1,45	7,30	-	-
13	Cyclohexane	1,59	0,94	-	-
Other oxygenated compounds					
14	DL-Alaninol	1,09	4,19	1,09	0,57
15	Bioallethrin	-	-	14,95	0,60
16	2-Butenal, 2-methyl-4-(2,6,6-trimethyl-1-cyclohexen-1-yl)-	16,94	2,91	-	-
17	Viridiflorol	-	-	17,80	1,67
18	1-Methylidene-2b-hydroxymethyl-3,3-dimethyl-4a-(3-methylbut-2-enyl)-cyclohexane	17,72	2,23	-	-
19	7,8-Dihydroxy-4,5-dimethyl-3,4-dihydronaphtalen-1 (2H)-one	-	-	16,89	0,84
Sesquiterpenes			14,64		41,24
Oxygenated sesquiterpenes			67,79		54,65
Other compounds			8,24		-
Other oxygenated compounds			9,33		3,68
Yield (%)			7,2705		4,6009

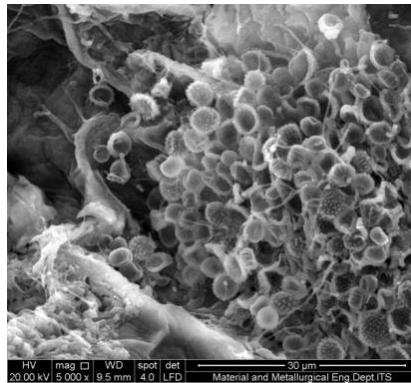
Tabel 4.19. Komponen-komponen yang terkandung dalam minyak gaharu yang diekstraksi dengan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* (rasio F/S 0,75 g/mL, rasio F/D 0,15 g/mL, daya 600 W, dan laju aliran udara 1 L/min) berdasarkan analisa GC-MS

No.	Compound	MAHD		SFME	
		R.T. (min)	% Area	R.T. (min)	% Area
1	Monoterpenes β -Pinene	-	-	7,503	0,20
2	Oxygenated monoterpenes Eucalyptol	-	-	3,425	0,16
3	α -Terpineol	-	-	5,419	0,51
4	p-Methylphenyl acetone	6,101	1,44	-	-
5	3-phenyl-2-butanone	-	-	6,107	1,04
6	Sesquiterpenes α -Guaiene	9,089	0,36	9,090	0,25
7	γ -Elemene	10,501	0,61	10,502	0,48
8	δ -Guaiene	10,639	1,65	10,634	0,77
9	β -Maaliene	14,722	1,36	-	-
10	δ -Selinene	14,981	4,94	-	-
11	α -Muurolene	15,584	7,54	-	-
12	γ -Gurjunene	16,055	23,93	15,891	10,21
13	cis- α -Bisabolene	18,551	0,99	-	-
14	Alloaromadendrene	-	-	13,442	1,03
15	Viridiflorene	-	-	14,056	1,38
16	δ -Selinene	-	-	14,484	11,20
17	Longifolene	-	-	14,706	2,19
18	β -Maaliene	-	-	14,960	5,23
19	β -Guaiene	-	-	15,309	1,91
20	Neoisolongifolene	-	-	15,552	7,27
21	Aromadendrene	-	-	15,986	15,95
22	γ -Selinene	-	-	16,298	4,16
23	β -Humulene	-	-	17,504	0,92
24	Eremophilene	-	-	18,757	1,16
25	Longifolene	-	-	20,582	1,09
26	β -Caryophyllene	23,750	1,54	-	-
27	Oxygenated sesquiterpenes α -Agarofuran	11,903	1,59	11,903	2,37
28	α -Costol	12,696	2,25	-	-

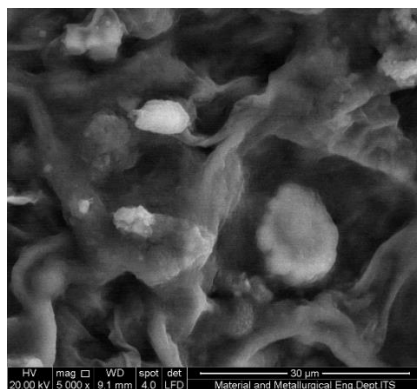
No.	Compound	MAHD		SFME	
		R.T. (min)	% Area	R.T. (min)	% Area
39	β -Spathulenol	-	-	12,696	3,11
30	γ -Eudesmol	14,521	16,56	-	-
31	Agarospirol	15,171	7,89	15,145	4,81
32	Shyobunol	16,642	2,05	-	-
33	Valerenal	18,286	1,51	-	-
34	Aristolone	18,768	3,04	-	-
35	Longifolenaldehyde	19,931	15,88	-	-
	Other compounds				
36	5,5-Dimethylcyclopentadiene	-	-	9,015	0,23
37	4,4-Dimethyl-3-(3-methylbut-3-enylidene)-2-methylenebicyclo[4.1.0]heptane	13,183	1,20	-	-
38	(-)-Dehydroaromadendrene	14,066	1,39	-	-
39	Bicyclo[2.2.1]hept-2-en-2-amine, N, N-dimethyl-	-	-	16,626	3,45
40	(3E)-2,6-Dimethyl-5-isopropyliden-1,3,6,9-decatetraene	17,371	0,80	17,361	1,24
41	4,4-Dimethyl-3-(3-methylbut-3-enylidene)-2-methylenebicyclo[4.1.0]heptane	-	-	19,836	9,51
42	8,9-Dehydronoisolongifolene	23,406	1,48	-	-
	Other oxygenated compounds				
43	Butyl butyryl lactate	-	-	13,241	5,22
44	Pancoral	-	-	24,739	2,92
Monoterpenes			-		0,20
Oxygenated monoterpenes			1,44		1,71
Sesquiterpenes			42,92		65,2
Oxygenated sesquiterpenes			50,77		10,29
Other compounds			4,87		14,43
Other oxygenated compounds			-		8,14
Yield (%)			0,0613		0,0305

4.5.3. Hasil Analisa SEM Daun Nilam dan Gaharu

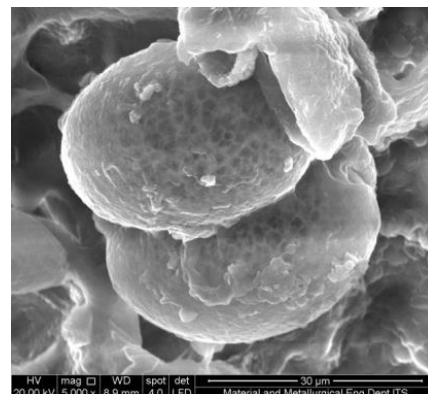
Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan suatu uji yang digunakan untuk menganalisa struktur permukaan bahan. Dalam hal ini bahan yang dianalisa adalah daun nilam kering sebelum dan setelah diekstrak dengan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction*.



Gambar 4.19. Hasil SEM daun nilam sebelum ekstraksi dengan perbesaran 5.000 kali



(a)



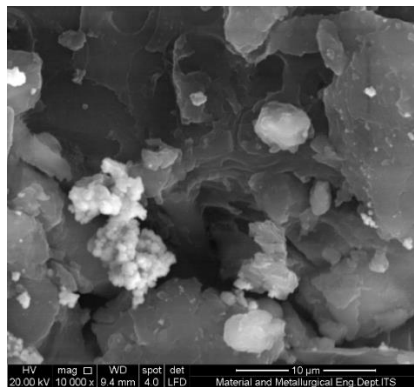
(b)

Gambar 4.20. Hasil SEM daun nilam kering setelah diekstrak menggunakan metode: (a) *microwave air-hydrodistillation* (b) *solvent-free microwave extraction* dengan perbesaran 5.000 kali

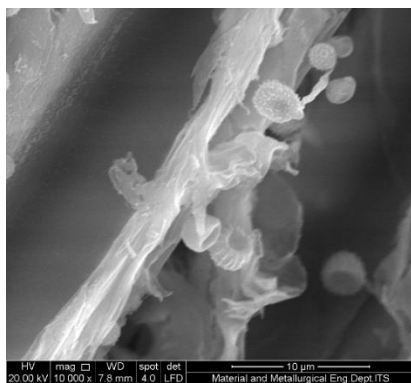
Berdasarkan Gambar 4.19 terlihat bahwa terdapat banyak kelenjar minyak yang masih utuh (bentuk sempurna) pada penampang daun nilam sebelum diekstrak. Berdasarkan Gambar 4.20 terlihat bahwa pada daun nilam kering setelah diekstrak dengan metode *microwave air-hydrodistillation*, kelenjar minyak telah terbuka semua dan lebih rusak dibandingkan kelenjar minyak yang terdapat pada

daun nilam kering setelah diekstrak dengan metode *solvent-free microwave extraction*. Hal ini dikarenakan pengaruh metode yang digunakan pada ekstraksi minyak nilam dari daun nilam kering, dimana dengan metode *microwave air-hydrodistillation* diperoleh *yield* minyak yang lebih tinggi.

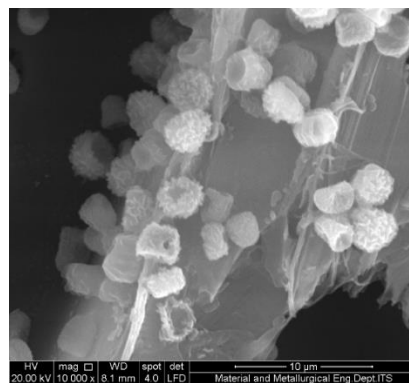
Begitupun seperti yang terlihat pada Gambar 4.21 dan 4.22, pada gaharu setelah diekstraksi dengan metode *microwave air-hydrodistillation*, kelenjar minyaknya telah terbuka dan terlihat lebih rusak dibandingkan dengan gaharu yang diekstrak dengan metode *solvent-free microwave extraction*. Hal ini sesuai dengan hasil perolehan *yield* minyak gaharu dimana dengan menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* diperoleh *yield* yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode *solvent-free microwave extraction*.



Gambar 4.21. Hasil SEM gaharu sebelum ekstraksi dengan perbesaran 10.000 kali



(a)



(b)

Gambar 4.22. Hasil SEM gaharu setelah diekstrak menggunakan metode: (a) *microwave air-hydrodistillation* (b) *solvent-free microwave extraction* dengan perbesaran 10.000 kali

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan antara lain:

1. Ekstraksi minyak nilam dengan metode *solvent-free microwave extraction* secara umum menghasilkan *yield* yang lebih besar dan memerlukan waktu yang lebih singkat apabila dibandingkan dengan metode *microwave air-hydrodistillation*.
2. Kondisi operasi optimal untuk ekstraksi minyak nilam dan gaharu dengan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* adalah sebagai berikut:
 - a. Untuk ekstraksi daun nilam segar dengan metode *microwave air-hydrodistillation*, kondisi operasi optimal diperoleh ketika menggunakan daya *microwave* 450 W, ukuran daun nilam cacah ($0,92 \pm 0,12$ cm), rasio antara massa bahan baku terhadap *volume solvent* (F/S) 0,3 g/mL, dan laju aliran udara 0,5 L/min dengan *yield* sebesar 6,8683 %.
 - b. Untuk ekstraksi daun nilam kering dengan metode *microwave air-hydrodistillation*, kondisi operasi optimal diperoleh ketika menggunakan daya *microwave* 450 W, ukuran daun nilam cacah ($0,92 \pm 0,12$ cm), rasio antara massa bahan baku terhadap *volume solvent* (F/S) 0,3 g/mL, dan laju aliran udara 0,5 L/min dengan *yield* sebesar 5,5874 %.
 - c. Untuk ekstraksi daun nilam segar dengan metode *solvent-free microwave extraction*, kondisi operasi optimal diperoleh ketika menggunakan daya *microwave* 300 W, ukuran daun nilam cacah ($0,92 \pm 0,12$ cm), dan rasio antara massa bahan baku terhadap *volume distiller* (F/D) 0,06 g/mL dengan *yield* sebesar 8,1650 %.
 - d. Untuk ekstraksi daun nilam kering dengan metode *solvent-free microwave extraction*, kondisi operasi optimal diperoleh ketika menggunakan daya *microwave* 450 W, ukuran daun nilam utuh ($4,66 \pm 1,41$ cm), dan rasio antara

- e. massa bahan baku terhadap *volume distiller* (F/D) 0,06 g/mL dengan *yield* sebesar 4,6009 %.
 - f. Untuk ekstraksi minyak gaharu dengan metode *microwave air-hydrodistillation* lebih efektif dibandingkan metode *solvent-free microwave extraction*, dengan kondisi operasi yaitu daya *microwave* 600 W, waktu perendaman bahan 6 jam, waktu ekstraksi 4 jam, rasio antara massa bahan baku terhadap *volume solvent* (F/S) 0,15 g/mL, dan laju aliran udara 1,0 L/min dengan *yield* sebesar 0,0613 %.
3. Adanya penambahan aliran udara pada metode *microwave air-hydrodistillation* mampu meningkatkan *yield* dan akumulasi *recovery* minyak nilam dan minyak gaharu yang diperoleh, namun laju alirnya juga harus disesuaikan dengan karakteristik bahan. Dimana laju aliran udara yang optimal untuk ekstraksi minyak nilam baik dari daun nilam segar maupun kering yaitu 0,5 L/min, sedangkan untuk ekstraksi minyak gaharu yaitu 1,0 L/min.
 4. Model kinetika orde dua lebih dapat merepresentasikan secara baik hasil eksperimen dari ekstraksi minyak nilam dengan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* apabila dibandingkan dengan model kinetika orde satu.
 5. Optimasi proses ekstraksi minyak nilam dari daun nilam segar dan kering dengan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) diperoleh hasil sebagai berikut:
 - a. Untuk ekstraksi daun nilam segar dengan metode *microwave air-hydrodistillation*, kondisi operasi optimal diperoleh ketika menggunakan daya *microwave* 507,87 W, rasio antara massa bahan baku terhadap *volume solvent* (F/S) 0,31 g/mL, waktu ekstraksi 177,63 menit, dan laju aliran udara 0,19 L/min diperoleh *yield* sebesar 7,4824 % dengan nilai R^2 sebesar 0,8886.
 - b. Untuk ekstraksi daun nilam kering dengan metode *microwave air-hydrodistillation*, kondisi operasi optimal diperoleh ketika menggunakan daya *microwave* 597,31 W, rasio antara massa bahan baku terhadap *volume solvent* (F/S) 0,31 g/mL, waktu ekstraksi 178,31 menit, dan laju aliran

- udara 0,85 L/min diperoleh *yield* sebesar 5,8196 % dengan nilai R^2 sebesar 0,9505.
- c. Untuk ekstraksi daun nilam segar dengan metode *solvent-free microwave extraction*, kondisi operasi optimal diperoleh ketika menggunakan daya *microwave* 374,96 W, rasio antara massa bahan baku terhadap *volume distiller* (F/D) 0,05 g/mL, dan waktu ekstraksi 90 menit diperoleh *yield* sebesar 7,8809 % dengan nilai R^2 sebesar 0,9732.
 - d. Untuk ekstraksi daun nilam kering dengan metode *solvent-free microwave extraction*, kondisi operasi optimal diperoleh ketika menggunakan daya *microwave* 487,88 W, rasio antara massa bahan baku terhadap *volume distiller* (F/D) 0,06 g/mL, dan waktu ekstraksi 90 menit diperoleh *yield* sebesar 4,2171 % dengan nilai R^2 sebesar 0,9303.
6. Kualitas dari minyak nilam dan minyak gaharu yang diperoleh dengan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* dapat ditentukan dengan cara melakukan pengujian terhadap sifat fisik dan kimia dari minyak nilam yang diperoleh tersebut.
- a. Berat jenis minyak nilam hasil ekstraksi dengan metode *solvent-free microwave extraction* yaitu sebesar $0,9808 \pm 0,0054$ ($25^\circ\text{C}/25^\circ\text{C}$) lebih besar daripada metode *microwave air-hydrodistillation* yaitu sebesar $0,9706 \pm 0,0059$ ($25^\circ\text{C}/25^\circ\text{C}$).
 - b. Kelarutan minyak nilam hasil ekstraksi dengan metode metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* adalah sama yaitu sebesar 1:9.
 - c. Kadar patchouli alcohol hasil ekstraksi menggunakan metode *solventfree microwave extraction* lebih tinggi apabila dibandingkan dengan metode *microwave air-hydrodistillation*.
 - Kadar patchouli alcohol hasil ekstraksi daun nilam segar dengan metode *solvent-free microwave extraction* (65,85%) lebih tinggi apabila dibandingkan dengan metode *microwave hydrodistillation* (65,67%)
 - Kadar patchouli alcohol hasil ekstraksi daun nilam kering menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* (53,68%)

lebih tinggi apabila dibandingkan dengan metode *microwave air-hydrodistillation* (48,87%)

- d. Jumlah komponen yang terkandung pada minyak gaharu yang diekstraksi dengan metode *microwave air-hydrodistillation* sebanyak 22 komponen dengan komponen tertingginya berupa γ -Gurjunene (23,93%), sedangkan dengan metode *solvent-free microwave extraction* sebanyak 29 komponen dengan komponen tertingginya berupa Aromadendrene (15,95%)
- e. Berdasarkan hasil analisa sifat fisik dan kimia dari minyak nilam hasil ekstraksi dengan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* telah sesuai dengan standar kualitas SNI 06-2385-2006 dan ISO 3757 : 2002 (E), sedangkan untuk minyak gaharu hasil ekstraksi dengan metode *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* telah sesuai dengan penelitian terdahulu .

5.2. Saran

Perlu dikaji untuk pembuatan *scale-up* alat untuk metode ekstraksi *microwave air-hydrodistillation* dan *solvent-free microwave extraction* ini, agar dapat dilakukan ekstraksi dengan kapasitas yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmaed, D.T., Mohammed, M., Masaad, A. M., dan Tajuddin, S. N. (2017), "Investigation of Agarwood Compounds in *Aquilaria malaccensis* & *Aquilaria rostrata* Chipwood by Using Solid Phase Microextraction", *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, ISSN: 2574-1241.
- Armando, R. (2009), *Memproduksi 15 Jenis Minyak Atsiri Berkualitas*, Penebar Swadaya, Jakarta.
- Ayyobi, H., Pcyvast, G-A., dan Olfati, J-A. (2014), "Effect of Drying Methods on Essential Oil Yield, Total Phenol Content and Antioxidant Capacity of Peppermint and Dill", *Original Scientific Paper*, Vol. 51, No. 1, hal. 18-22.
- Bale, A.S. dan Shinde, N.H. (2013), "Microwave Assisted Extraction of Essential Oil from Lemon Leaves", *International Journal of Recent Scientific Research*, Vol. 4, No. 9, hal. 1414-1417.
- Bayram, M., Oner, M. D., dan Kaya, A. (2004), "Influence of soaking on the dimensions and colour of soybean for bulgur production", *Journal of Food Engineering*, Vol. 61, hal. 331-339.
- Bhuiyan, M. N. I., Begum, J., dan Bhuiyan, M. N. H. (2008), "Analysis of essential Oil of Eaglewood Tree (*Aquilaria agallocha* Roxb.) by Gas Chromatography Mass Spectrometry", *Bangladesh Journal of Pharmacology*, Vol. 4, hal. 24-28.
- Chan, C-H., Yusoff, R., Ngoh, G-C., dan Kung, FW-L. (2011), "Microwave-Assisted Extractions of Active Ingredients from Plants", *Journal of Chromatography A*, Vol. 1218, hal. 6213-6225.
- Chemat, F. dan Cravotto, G. (2013), *Microwave-assisted Extraction for Bioactive Compounds: Theory and Practice*, Springer, New York.
- Chemat, F., Sahraoui, N., Abert-Vian, M., Bornard, I., dan Boutekdjiret, C. (2008), "Improved Microwave Steam Distillation Apparatus for Isolation of Essential Oils Comparison with Conventional Steam Distillation", *Journal of Chromatography A*, Vol. 1210, hal. 229-233.

- Chen, F., Zu, Y., dan Yang, L. (2015), "A Novel Approach for Isolation of Essential Oil from Fresh Leaves of *Magnolia sieboldii* using Microwave-Assisted Simultaneous Distillation and Extraction", *Separation and Purification Technology*, Vol. 154, hal. 271-280.
- Covelo, E.F., Andrade, M.L., dan Vega, F.A. (2004), "Heavy Metal Adsorption by Humic Umbrisols: Selectivity Sequences and Competitive Sorption Kinetics", *Journal of Colloid Interface Science*, Vol. 280, No. 1, hal. 1-8.
- Dahham, S. S., Tabana, Y. M., Hassan, L. E. A., Ahamed, M. B. K., Majid, A. S. A., dan Majid, A. M. S. A. (2016), "In vitro antimetastatic activity of Agarwood (*Aquilaria crassna*) essential oils against pancreatic cancer cells" *Alexandria Journal of Medicine*, Vol 52, No. 141-150.
- Desai, M., Parikh, J., dan Parikh, P. A. (2010), "Extraction of Natural Products Using Microwaves as a Heat Source", *Separation & Purification Reviews*, Vol. 39, No. 1-32.
- Dewan Atsiri Indonesia dan IPB. (2010), *Minyak Atsiri Indonesia*, Editor: Dr. Molide Rizal, Dr. Meika S. Rusli dan Ariato Mulyadi.
- Eskillsson, C.S. dan Bjourklund, E. (2000), "Analytical-Scale Microwave-Assisted Extraction", *Journal of Chromatography A*, Vol. 902, No. 1, hal. 227-250.
- Ferhat, M.A., Chemat, F., Meklati, B.Y., dan Smadja, J. (2006), "An Improved Microwave Clevenger Apparatus for Distillation of Essential Oils from Orange Peel", *Journal of Chromatography A*, Vol. 1112, hal. 121-126.
- Ferhat, M.A., Meklati, B.Y., dan Chemat, F. (2007), "Comparison of different isolation methods of essential oil from Citrus fruits: cold pressing, hydrodistillation and microwave 'dry' distillation", *Flavour and Fragrance Journal*, Vol. 22, hal. 494-504.
- Filly, A., Fernandez, X., Minuti, M., Visinoni, F., Cravotto, G., dan Chemat, F. (2014), "Solvent-Free Microwave Extraction of Essential Oil from Aromatic Herbs: From Laboratory to Pilot and Industrial Scale", *Food Chemistry*, Vol. 150, hal. 193-198.
- Figueiredo, A.C., Barroso, J.G., Pedro, L.G., dan Scheffer, J.J.C. (2008), "Factors Affecting Secondary Metabolite Production in Plants: Volatile Components

- and Essential Oils”, *Flavour and Fragrance Journal*, Vol. 23, No. 4, hal. 213-226.
- Golmakani, M.T. dan Moayyedi, M. (2015), “Comparison of Heat and Mass Transfer of Different Microwave-assisted Extraction Methods of Essential Oil from *Citrus limon* (Lisbon variety) Peel”, *Food Science & Nutrition*, Vol. 3, hal 1-13.
- Guenther, E. (1987), *Minyak Atsiri Jilid 1*, Penerjemah Ketaren S., Universitas Indonesia Press, Jakarta.
- Guenther, E. (1990), *Minyak Atsiri Jilid IVB*, Penerjemah Ketaren., Universitas Indonesia Press, Jakarta.
- Ho, Y.-S. dan Mc Kay, G. (1999), “The Sorption of Lead(II) Ions on Peat”, *Water Resources*, Vol. 33, No. 2, hal. 578–584.
- Ho, Y.-S. (2004), “Citation Review of Lagergren Kinetic Rate Equation on Adsorption Reactions”, *Scientometrics*, Vol. 59, No. 1, hal. 171–177.
- Ho, Y.-S., Adamou, H.-O.H., Fauduet, H., dan Porte, C. (2005), “Kinetics and Model Building of Leaching of Water-Soluble Compounds of *Tilia* Sapwood”, *Separation and Purification Technology*, Vol. 45, hal. 169–173.
- Ishihara, M., Tsuneya, T., dan Uneyama, K. (1993), “Components of the Agarwood Smoke on Heating”, *Journal of Essential Oil Research*, Vol. 5, hal. 419–423.
- Ishihara, M., Tsuneya, T., dan Uneyama, K. (1993), “Components of the Volatile Concentrate of Agarwood”, *Journal of Essential Oil Research*, Vol. 5, hal. 283–289.
- Jok, V. A., Radzi, N. C., dan Hamid, K. H. K. (2015), “Agarwood Oil Yield As A Result of Changes in Cell Morphology Due To Soaking Process”, *Social and Behavioral Sciences*, Vol. 195, hal. 2443-2450.
- Jolly, W.M. dan Hadlow, A.M. (2012), “A Comparison of Two Methods for Estimating Conifer Live Foliar Moisture Content”, *International Journal of Wildland Fire*, Vol. 21, hal. 180–185.
- Kasahara, S. dan Hemmi, S., (1995), *PT. Medical Herb Index in Indonesia*, Eisai Indonesia, No. 2329.
- Ketaren, S. (1985), *Pengantar Teknologi Minyak Atsiri*, Balai Pustaka, Jakarta.

- Kingston, R.S. (1997), "Solvent-Free Accelerated Organic Synthesis using Microwaves", *Pure and Applied Chemistry*, Vol. 73, hal. 193-198.
- Kusuma, H. S. (2016), *Ekstraksi Minyak Atsiri dari Kayu Cendana (Santalum album) dan Daun Nilam (Pogostemon cablin Benth) dengan Menggunakan Metode Microwave Hydrodistillation dan Microwave Air-Hydrodistillation*, Tesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Kusuma, H.S. dan Mahfud, M. (2016), "The Extraction of Essential Oil from Sandalwood (*Santalum album*) by Microwave Air-Hydrodistillation Method", *Journal of Materials and Environmental Science*, Vol. 7, No. 5, hal. 1597-1606.
- Kusuma, H.S. dan Mahfud, M. (2017), "The extraction of essential oils from patchouli leaves (*Pogostemon cablin Benth*) using a microwave air-hydrodistillation method as a new green technique", *The Royal Society of Chemistry*, Vol. 7, hal. 1336-1347.
- Lagergren, S. (1898), "About the Theory of So-called Adsorption of Soluble Substances", *Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar*, Vol. 24, No. 4, hal. 1-39.
- Liang, H., Hu, Z., dan Cai, M. (2008), "Desirability Function Approach for the Optimization of Microwave-Assisted Extraction of Saikosaponins from Radix bupleuri", *Separation and Purification Technology*, Vol. 61, No. 3, hal. 266-275.
- Lucchesi, M.E., Chemat, F., dan Smadja, J. (2004), "Solvent-free Microwave Extraction of Essential Oil from Aromatic Herbs: Comparison with Conventional Hydro-distillation", *Journal of Chromatography A*, Vol. 1043, No. 2, hal. 323-327.
- Ma'mun. (2006), "Karakteristik Beberapa Minyak Atsiri Famili *Zingiberaceae* dalam Perdagangan", *Buletin Penelitian Tanaman Rempah dan Obat*, Vol. 17, No. 2, hal. 91-98.
- Mandal, V., Mohan, Y., dan Hemalath, S. (2007), "Microwave Assisted Extraction- An Innovative and Promising Extraction Tool for Medicinal Plant Research", *Pharmacognosy Reviews*, Vol. 1, No. 1, hal. 7-18.

- Metaxas, A.C. (1996), *Foundations of Electroheat: A Unified Approach*, Wiley, New York.
- Ministry of Trade of the Republic of Indonesia. (2011), *Indonesian Essential Oil: The Scents of Natural Life*, Trade Policy Analysis and Development Agency, Ministry of Trade, Republic of Indonesia, Jakarta.
- Montgomery, D. C. (2001), *Design and Analysis of Experiments (Fifth Edition)*, Balai Pustaka, Jakarta.
- Naef, R. (2011), "The Volatile and Semi-volatile Constituents of Agarwood, the Infected Heartwood of *Aquilaria* Species: A Review", *Flavour and Fragrance Journal*, Vol. 26, hal. 73–87.
- NorAzah, M. A., Chang, Y. S., Mailina, J., Said, A. A., Majid, J. A., Husni, S. S., Hasnida, H. N., dan Y., N. Y. (2008), "Comparison of Chemical Profiles of Selected Gaharu Oils from Peninsular Malaysia", *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*. Vol. 12, hal. 340.
- NorAzah, M. A., Majid, J. A., Mailina, J., Said, A. A., Husni, S. S., Hasnida, H. N., Arip, M. A. M. N. M., dan Chang, Y. S. (2009), "Profiles of selected supreme Agarwood oils from Malaysia", *Herbal Globalisation: A New Paradigm for Malaysian Herbal Industry (MAPS 2008)*, hal. 393–398.
- Omidbaigi, R., Sefidkon, F., Kazemi, F. (2004), "Influence of Drying Methods on the Essential Oil Content and Composition of Roman chamomile, *Flavour Fragrance Journal*, Vol. 19, No. 3, hal. 196-198.
- Pirbalouti, A.G., Mahdad, E., dan Craker, L. (2013), "Effects of Drying Method on Qualitative and Quantitative Properties of Essential Oil of Two Basil Landraces", *Food Chemistry*, Vol. 141, No. 3, hal. 2440-2449.
- Plantus. (2008), *Proses Penyulingan Nilam*. Available at <https://anekaplanta.wordpress.com/2008/02/28/proses-penyulingan-nilam/>. Diakses pada tanggal 12 Januari 2017.
- Pravina, A. K. (2008), "Application of Solid Phase Microextraction in Gaharu Essential Oil Analysis", Bachelor of Chemical Engineering, Faculty of Chemical Engineering and Natural Resources, Univerisiti Malaysia Pahang (UMP), Pahang.

- Porpunyapat, J., Chetpattananondh, P., dan Tongurai, C. (2011), "Mathematical modeling for extraction of essential oil from *Aquilaria crassna* by hydrodistillation and quality of agarwood oil", *A Journal of Bangladesh Pharmacological Society* (BDPS), Vol. 6, hal. 18-24.
- Putri, D. K. Y. dan Dewi, I. E. P. (2016), *Ekstraksi Minyak Atsiri dari Daun Kemangi (*Ocimum basilicum* L.) dan Bunga Kenanga (*Cananga odorata*) dengan Metode Solvent-Free Microwave Extraction (SFME)*, Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Qi, X.-L., Li, T.-T., Wei, Z.-F., Guo, N., Luo, M., Wang, W., Zu, Y.-G., Fu, Y.-J., dan Peng, X. (2014), "Solvent-Free Microwave Extraction of Essential Oil from Pigeon Pea Leaves [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] and Evaluation of Its Antimicrobial Activity", *Industrial Crops and Products*, Vol. 58, hal. 322-328.
- Radojkovic, M.M., Zekovic, Z. P., Vidovic, S.S., Kocar, D. D., dan Maskovic, P.Z. (2012), "Free radical scavenging activity and total phenolic and flavonoid contents of mulberry (*Morus* spp. L., *Moraceae*) extracts", *Hem. Ind.* Vol. 66, No. 4, hal. 547–552.
- Raynie, D.E. (2000), "Extraction", dalam *Encyclopedia of Separation Science*, eds. Wilson I.D., Adlard E.R., Cooke M., dan Poolie C.F., Academic Press, San Diego.
- Reddad, Z., Gerente, C., Andres, Y., dan Le Cloirec, P. (2002), "Adsorption of Several Metal Ions onto a Low-Cost Biosorbent: Kinetic and Equilibrium Studies", *Environmental Science Technology*, Vol. 36, hal. 2067–2073.
- Routray, W. dan Orsat, V. (2011), "Microwave-Assisted Extraction of Flavonoids: A Review", *Food and Bioprocess Technology*, Vol. 5, No. 2, hal. 1–16.
- Santoso, H.B. (1990), *Nilam Bahan Industri Wewangian*, Kanisius, Yogyakarta.
- Sastrohamidjojo, H. (2004), *Kimia Minyak Atsiri*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Schmidt, E. (2010), Production of Essential Oils, In: *Handbook of Essential Oils: Science, Technology, and Applications*, eds. Baser, K.H. dan Buchbauer, G., CRC Press, Boca Raton, Florida, hal. 83-119.

- Sidik, N. A. B. (2008), "Comparison of Gaharu (*Aquilaria Malaccensis*) Essential Oil Composition Between Each Country", Bachelor of Chemical Engineering, Faculty of Chemical Engineering and Natural Resources, University Malaysia Pahang.
- Song, J., Li, D., Liu, C., dan Zhang, Y. (2011), "Optimized Microwave-Assisted Extraction of Total Phenolics (TP) from Ipomoea batatas Leaves and Its Antioxidant Activity", *Innovative Food Science and Emerging Technology*, Vol. 12, hal. 282-287.
- Sonwa, M.M. (2001), *Isolation and structure elucidation of essential oil constituents: comparative study of the oils of Cyperus alopecuroides, Cyperus papyrus and Cyperus rotundus. Hamburg:2000*, Dissertation for the fulfillment of the requirements for the degree of doctor from Mbamougong Cameroon.
- Stashenko, E.E., Jaramillo, B.E., dan Martinez, J.R. (2004), "Comparison of Different Extraction Methods for the Analysis of Volatile Secondary Metabolites of *Lippia Alba* (Mill.) N.E. Brown, Grown in Colombia, and Evaluation of its in vitro Antioxidant Activity", *Journal of Chromatography A*, Vol. 1025, hal. 93-103.
- Sulaiman, N., Idayu, M. I., Ramlan, A. Z., Fashya, M. N., Farahiyah, A. N. N., Mailina, J., dan Azah, M. A. N. (2015), "Effects of Extraction Methods on Yield and Chemical Compounds of Gaharu (*Aquilaria malaccensis*)", *Journal of Tropical Forest Science* 27, Vol. 3, hal. 413-419.
- Sumarna, Y. (2007), *Budidaya Gaharu*, Cetakan ke – 4, Penebar Swadaya, Jakarta.
- Tarigan, K. (2004), *Profil Pengusahaan (Budidaya) Gaharu*, Pusat Bina Penyuluhan Kehutanan, Departemen Kehutanan, Jakarta.
- Taylor, M., Atri, B.S., dan Minhas, S. (2005), *Developments in Microwave Chemistry*, Evalueserve, hal. 5-25.
- Tsai, Y. (2005), " α -Bulnesene, a PAF Inhibitor Isolated from the Essential Oil of *Pogostemon cablin*", *Fitoterapia*, Vol. 78, hal. 7-11.
- Turek, C. dan Stintzing, F.C. (2013), "Stability of Essential Oils: A Review", *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, Vol. 12, No. 1, hal. 40-53.

- Wang, Y., You, J., Yu, Y., Qu, C., Zhang, H., dan Ding, L. (2008), “Analysis of Ginsenosides in *Panax Ginseng* in High Pressure Microwave-assisted Extraction”, *Food Chemistry*, Vol. 110, No. 1, hal. 161–167.
- Wang, H. W., Liu, Y. Q., Wei, S. L., Yan, Z. J., dan Lu, K. (2010), “Comparison of Microwave-Assisted and Conventional Hydrodistillation in the Extraction of Essential Oils from Mango (*Mangifera indica* L.) Flowers”, *Molecules*, Vol. 15, hal. 7715-7723.
- Wang, X., Zhang, G, dan Choi, C. Y. (2018), “Effect of airflow speed and direction on convective heat transfer of standing and reclining cows”, *Biosystem Engineering*, Vol. 167, hal. 87-98.
- Wilhelm, L.R., Suter, D.A., dan Brusewith, G.H. (2004), *Food & Process Engineering Technology*, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan.
- Wong, Y. F., Chin, S. T., Perlmutter, P., dan Marriott, P. J. (2015), “Evaluation of comprehensive two-dimensional gas chromatography with accurate mass time-of-flight mass spectrometry for the metabolic profiling of plant–fungus interaction in *Aquilaria malaccensis*”, *Journal of Chromatography A*, Vol. 1387, hal. 104-115.

LAMPIRAN A

PROSEDUR ANALISA

Besaran yang diukur dan analisa yang dilakukan:

- A. Perhitungan *yield* minyak atsiri
- B. Perhitungan *recovery* minyak atsiri
- C. Analisa berat jenis minyak atsiri
- D. Analisa kelarutan minyak atsiri dalam alkohol

Semua contoh perhitungan dari data variabel nilam kering pada ukuran setengah utuh ($2,45 \pm 0,56$ cm) dengan rasio F/D 0,08 g/ml dan daya 450 Watt yang diekstraksi dengan metode *solvent-free microwave extraction*.

Prosedur Analisa

A. Perhitungan *Yield* Minyak Atsiri

1. Menimbang botol vial kosong yang dinotasikan sebagai A (gram)
2. Menimbang botol vial yang telah diisi minyak atsiri yang dinotasikan sebagai B (gram)
3. Menghitung massa minyak atsiri (gram) = B – A
4. Menghitung *yield* minyak atsiri dengan menggunakan persamaan:

$$Yield (\%) = \frac{\text{massa minyak atsiri yang dihasilkan}}{\text{massa bahan baku yang digunakan} \times (1 - \text{kadar air}(\%))} \times 100\%$$

Contoh perhitungan:

Massa bahan = 80,0964 gram

Massa vial kosong = 11,9697 gram

Massa vial + minyak = 13,5111 gram

Massa minyak = 1,5414 gram

Kadar air = 19,2619 %

Menghitung *yield* minyak atsiri:

$$Yield = \frac{1,5414}{80,0964 \times (1 - 0,1926)} \times 100\% = 2,3835 \%$$

B. Perhitungan *Recovery* Minyak Atsiri

1. Melakukan ekstraksi dengan metode soxhletasi untuk massa bahan 60 gram daun nilam yang telah dicacah.
2. Ekstraksi dilakukan dengan 400 mL pelarut n-heksana pada temperatur 70-80°C sebanyak 20 siklus
3. Hasil ekstraksi dengan metode soxhletasi yang berupa campuran minyak atsiri dan pelarut n-heksana selanjutnya dipisahkan dengan menggunakan *rotary vacuum evaporator*
4. Menimbang massa minyak atsiri yang diperoleh
5. Menghitung *yield* minyak atsiri hasil dari ekstraksi dengan metode soxhletasi menggunakan persamaan:

$$Yield (\%) = \frac{\text{massa minyak atsiri yang dihasilkan}}{\text{massa bahan baku yang digunakan} \times (1 - \text{kadar air}(\%))} \times 100\%$$

6. Menghitung *recovery* minyak atsiri dengan menggunakan persamaan:

$$Recovery = \frac{\text{yield minyak atsiri hasil ekstraksi}}{\text{yield minyak atsiri hasil soxhlet}} \times 100\%$$

C. Perhitungan Berat Jenis Minyak Atsiri

- a. Menimbang gelas ukur 10 ml yang akan digunakan sebagai wadah menggunakan neraca analitik (W_1)
- b. Memasukkan minyak nilam ke dalam gelas ukur menggunakan pipet sebanyak 1 ml (V)
- c. Menimbang berat gelas ukur + minyak nilam (W_2)

Massa gelas ukur kosong (W_1) = 45,0401 gram

Massa gelas ukur + minyak (W_2) = 45,9751 gram

Massa minyak (W_m) = 0,9350 gram

Volume minyak (V) = 1 mL

Berat jenis minyak nilam (ρ_m) pada suhu 30°C

$$= \frac{W_m}{V} = \frac{0,9350 \text{ gram}}{1 \text{ ml}} = 0,9350 \text{ g/ml}$$

Nilai koreksi berat jenis minyak nilam dengan perubahan temperatur setiap 1°C masing-masing adalah 0,00073 (Guenther, 1987).

Maka berat jenis minyak nilam (ρ_m) pada suhu 25°C

$$= 0,9350 + (5 \times 0,00073)$$

$$= 0,9386 \text{ g/ml}$$

Dan berat jenis minyak nilam (ρ_m) pada suhu 20°C

$$= 0,9350 + (10 \times 0,00073)$$

$$= 0,9423 \text{ g/ml}$$

D. Perhitungan Kelarutan Minyak Atsiri dalam Alkohol

- a. Mengambil minyak nilam dengan menggunakan pipet volume sebanyak 1 ml (V_1) dan memasukkan ke dalam tabung reaksi.
- b. Menambahkan ethanol 90% setiap 1 ml ke dalam tabung reaksi dan mencatat volume ethanol 90% (V_2) yang dibutuhkan untuk melarutkan minyak nilam
- c. Menghitung nilai kelarutan minyak nilam

$$V_1 = 1 \text{ ml}$$

$$V_2 = 9 \text{ ml}$$

$$\text{Kelarutan} = V_1 : V_2$$

$$= 1 \text{ ml} : 9 \text{ ml}$$

$$= 1 : 9$$

LAMPIRAN B

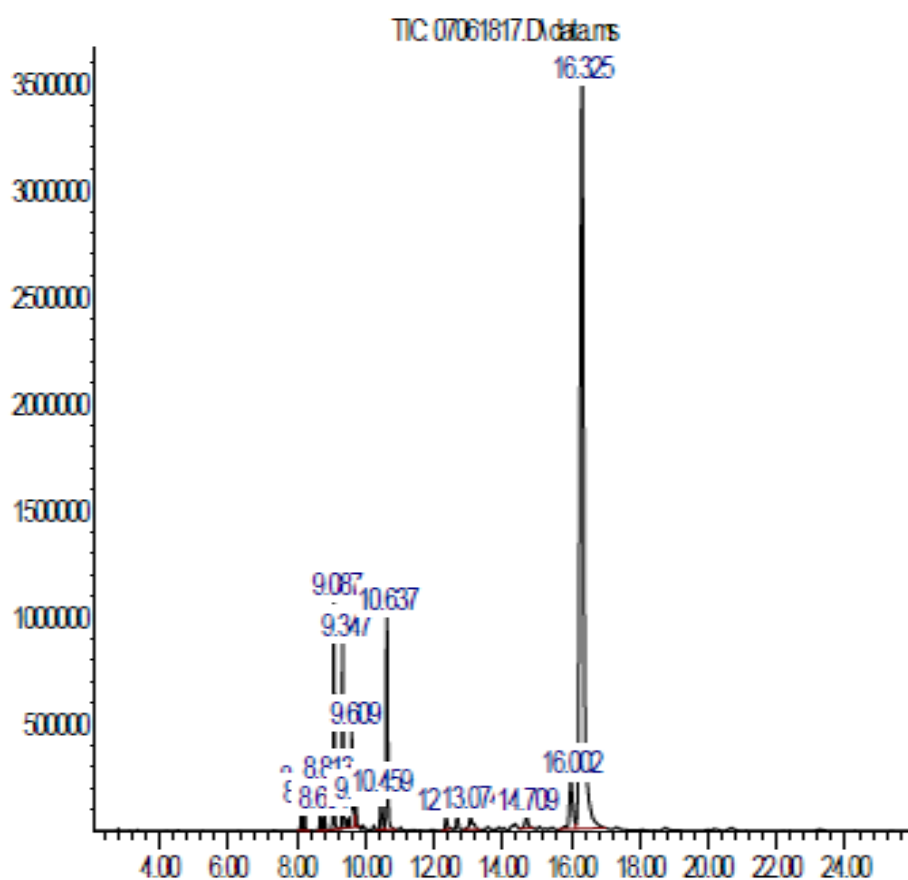
HASIL ANALISA KOMPONEN GC-MS

- Hasil Analisa GC-MS dari Minyak Nilam yang diekstraksi dengan Metode *Microwave Air-Hydrodistillation* untuk Daun Nilam Segar



Laboratorium PT. Gelora Djaja

Abundance



Time→

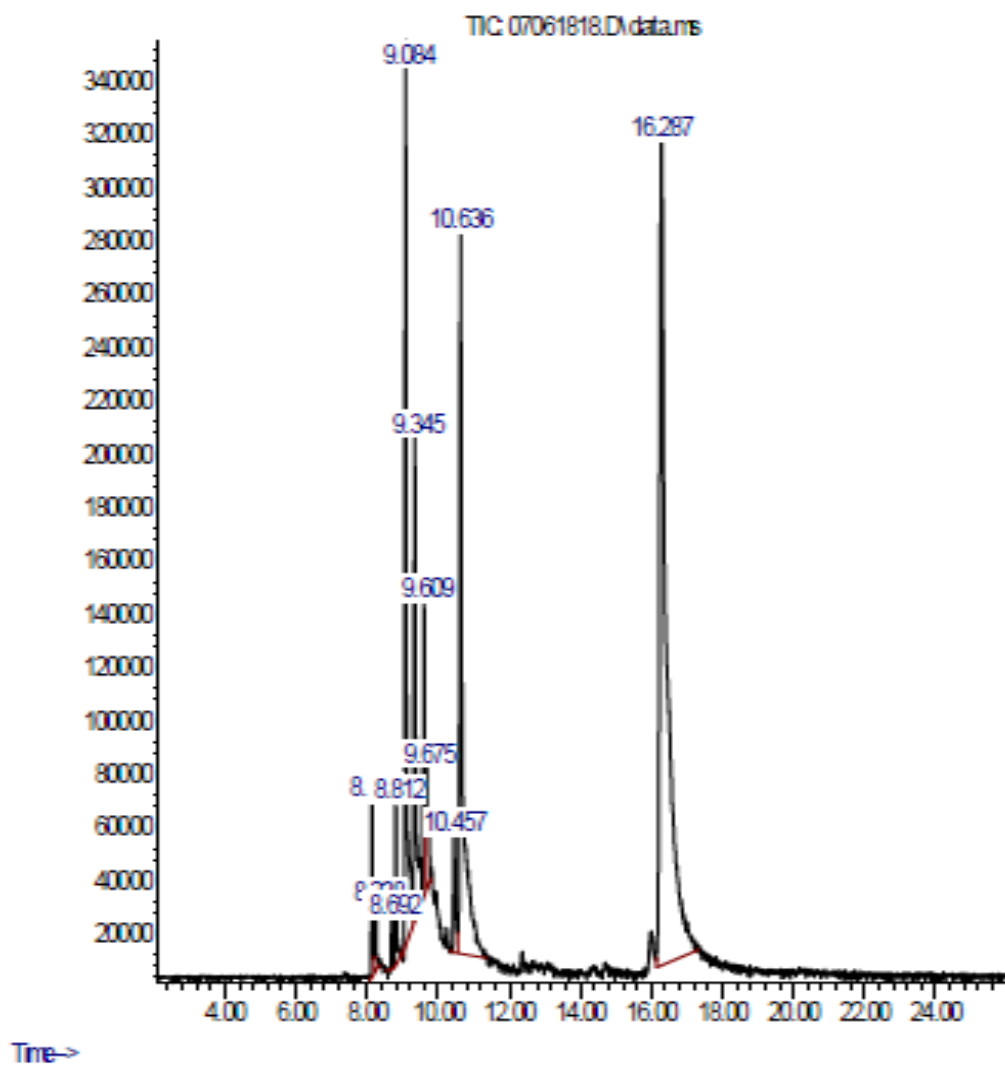
Retention Time	Nama Senyawa	% Area
16,324	Patchouli alcohol	65,67
10,639	δ -Guaiene	7,87
9,089	α -Guaiene	6,77
9,348	Seychellene	5,42
16,002	β -Humulene	3,95

2. Hasil Analisa GC-MS dari Minyak Nilam yang diekstraksi dengan Metode *Microwave Air-Hydrodistillation* untuk Daun Nilam Kering



Laboratorium PT. Gelora Djaja

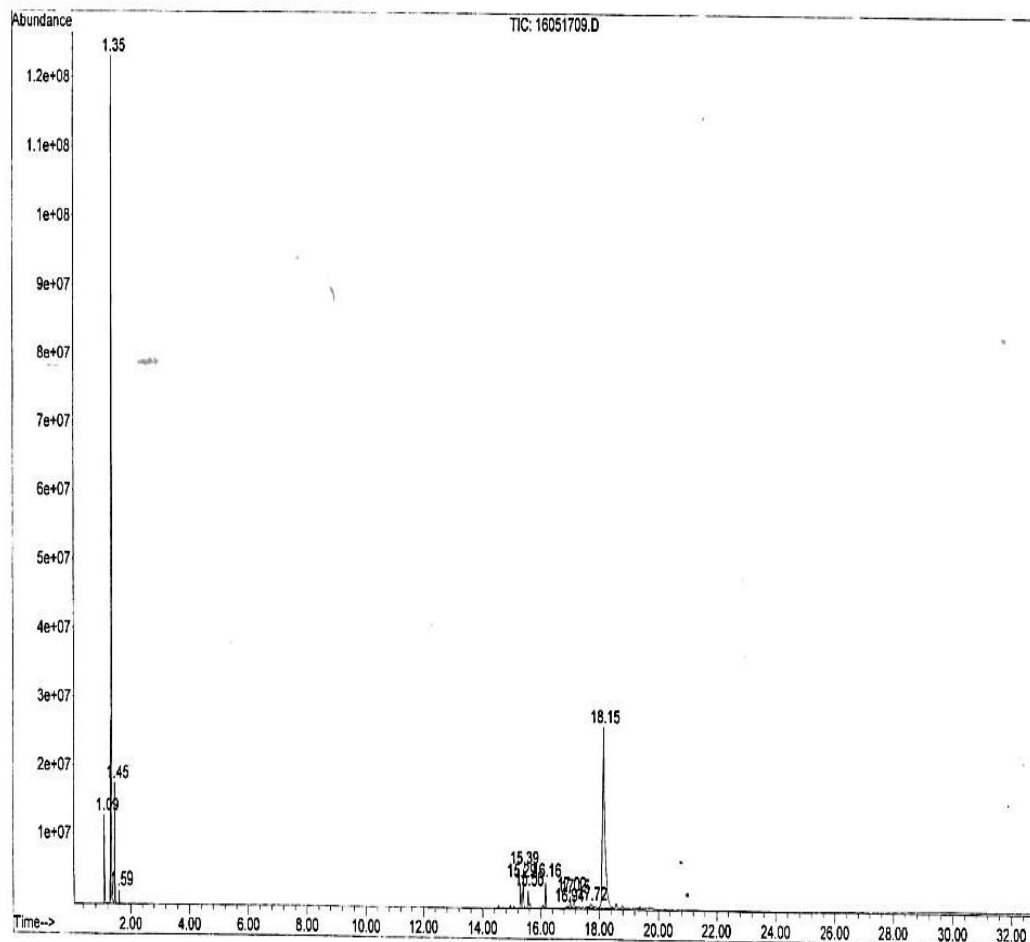
Abundance



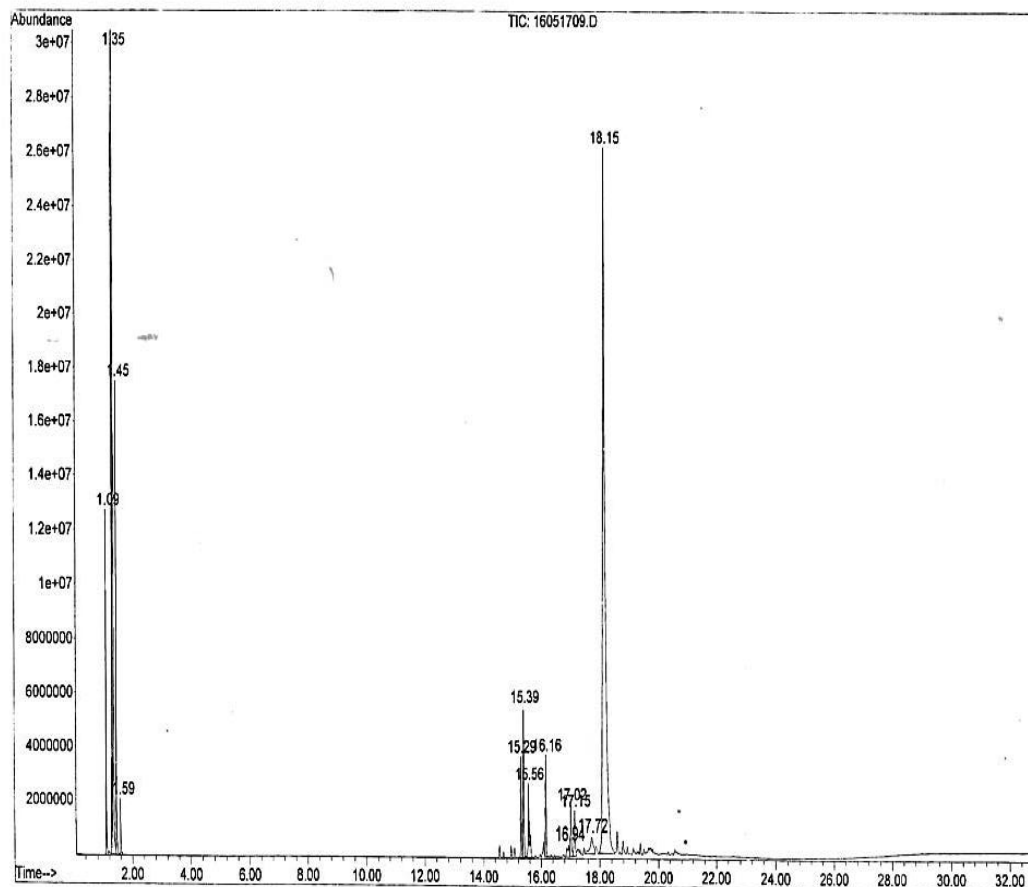
Retention Time	Nama Senyawa	% Area
16,287	Patchouli alcohol	48,87
10,634	β -Humulene	18,00
9,084	α -Guaiene	12,34
9,343	Seychellene	7,95
9,608	Viridiflorene	3,48

3. Hasil Analisa GC-MS dari Minyak Nilam yang diekstraksi dengan Metode *Solvent-Free Microwave Extraction* untuk Daun Nilam Segar

File :C:\MSDCHEM\1\DATA\PROFILING\2017\16051709.D
Operator : tiko
Acquired : 17 May 2017 12:05 using AcqMethod PROFILE1.M
Instrument : Instrument #1
Sample Name: 5-132
Misc Info : 0.4 ul split 1:100 scan 20-600 amu
Vial Number: 1



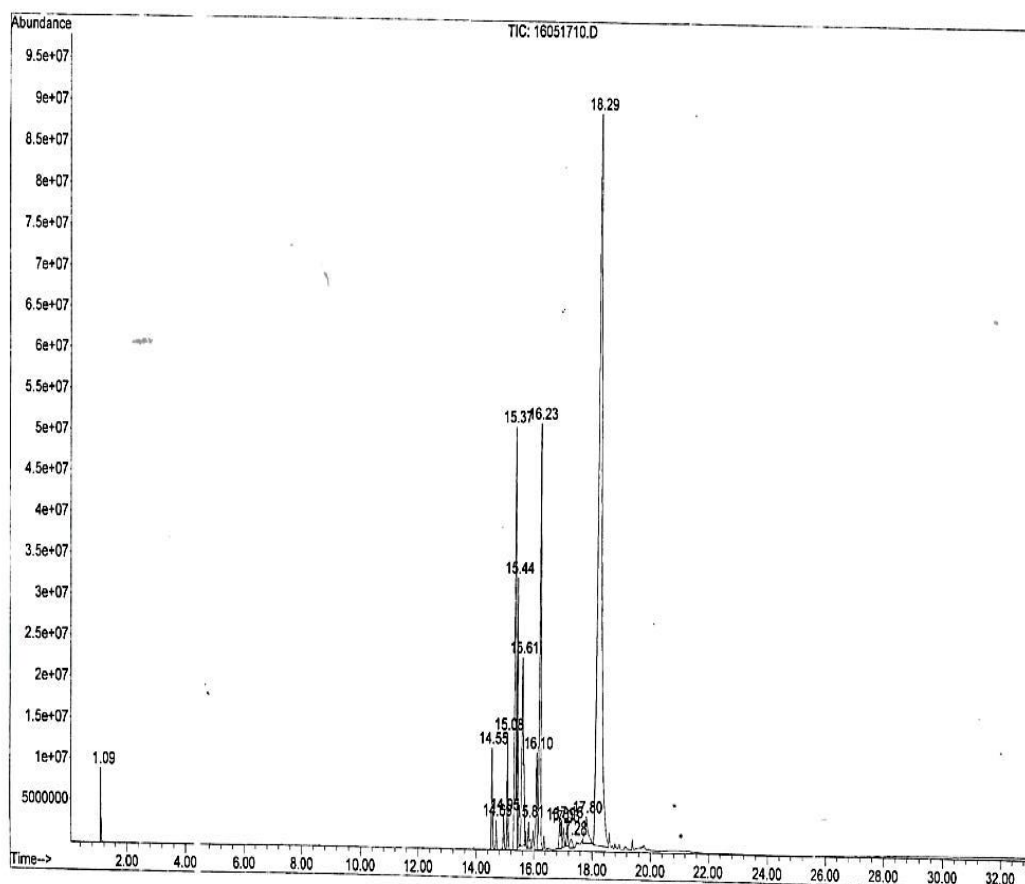
File :C:\MSDCHEM\1\DATA\PROFILING\2017\16051709.D
 Operator : tiko
 Acquired : 17 May 2017 12:05 using AcqMethod PROFILE1.M
 Instrument : Instrument #1
 Sample Name: 5-132
 Misc Info : 0.4 ul split 1:100 scan 20-600 amu
 Vial Number: 1



Retention Time	Nama Senyawa	% Area
18,15	Patchouli alcohol	65,85
1,45	Cyclopentane, methyl-	7,30
15,39	Seychellene	4,89
1,09	DL-Alaninol	4,19
15,56	α -Patcoullene	3,45

4. Hasil Analisa GC-MS dari Minyak Nilam yang diekstraksi dengan Metode *Solvent-Free Microwave Extraction* untuk Daun Nilam Kering

File :C:\MSDCHEM\1\DATA\PROFILING\2017\16051710.D
 Operator : tiko
 Acquired : 17 May 2017 12:46 using AcqMethod PROFILE1.M
 Instrument : Instrument #1
 Sample Name: 5-129
 Misc Info : 0.4 ul split 1:100 scan 20-600 amu
 Vial Number: 1



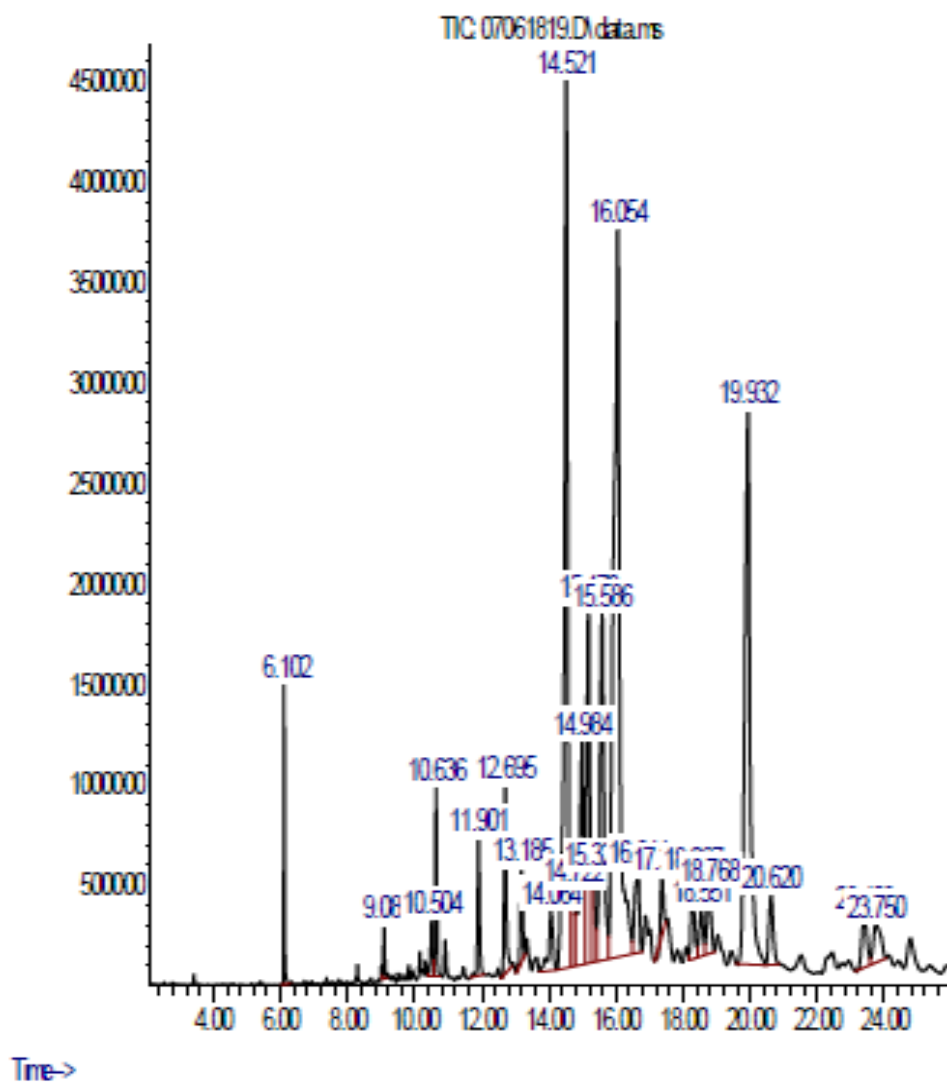
Retention Time	Nama Senyawa	% Area
18,29	Patchouli alcohol	53,68
15,37	α -Guaiene	11,26
16,23	Azulene,1,2,3,5,6,7,8,8a-octahydro-1,4,dimethyl-7-(1-methylethenyl)-,[1s-(1 α .,7 α ,8 α . β)]-	10,75
15,61	α -Patchoullene	6,81
15,44	Seychellene	5,00

5. Hasil Analisa GC-MS dari Minyak Gaharu yang diekstraksi dengan Metode *Microwave Air-Hydrodistillation*



Laboratorium PT. Gelora Djaja

Abundance



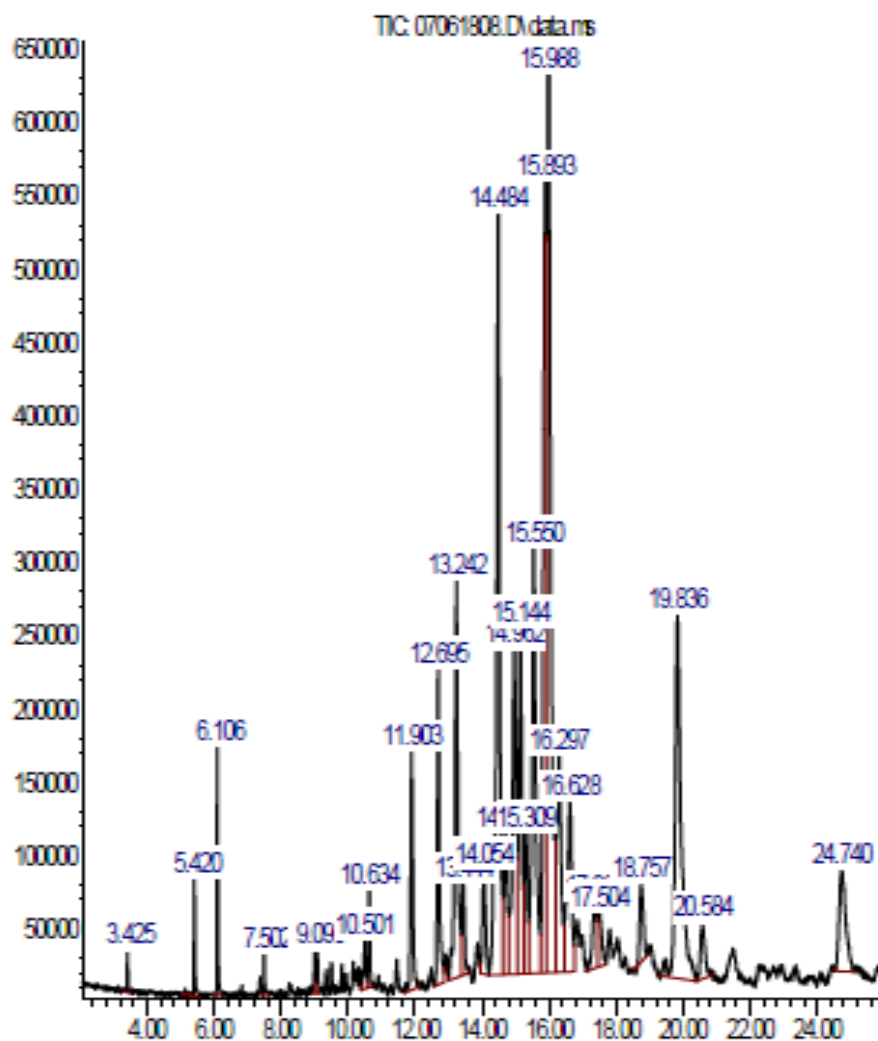
Retention Time	Nama Senyawa	% Area
16,055	γ -Gurjunene	23,93
14,521	γ -Eudesmol	16,56
19,931	Longifolenaldehyde	15,88
15,171	Agarospirol	7,89
15,584	α -Muurolene	7,54

6. Hasil Analisa GC-MS dari Minyak Gaharu yang diekstraksi dengan Metode *Solvent-Free Microwave Extraction*



Laboratorium PT. Gelora Djaja

Abundance



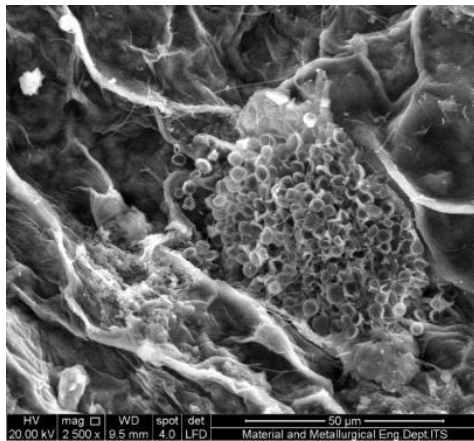
Time→

Retention Time	Nama Senyawa	% Area
15,986	Aromadendrene	15,95
14,484	δ -Selinene	11,20
15,891	γ -Gurjunene	10,21
15,552	Neoisolongifolene	7,27
14,960	β -Maaliene	5,23

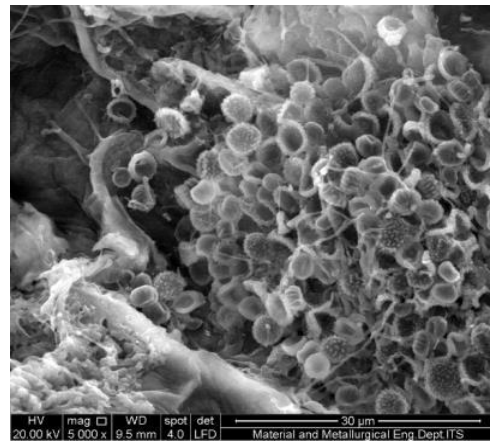
LAMPIRAN C

HASIL ANALISA SEM

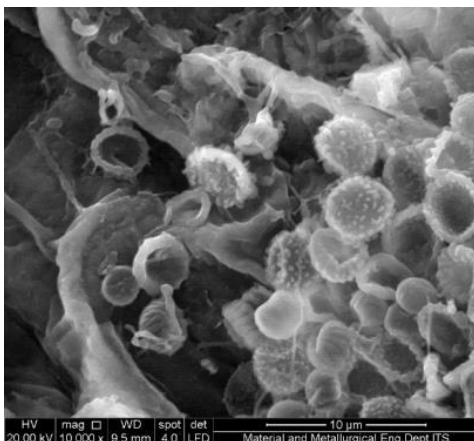
1. Hasil Analisa SEM Daun Nilam Kering Sebelum Ekstraksi



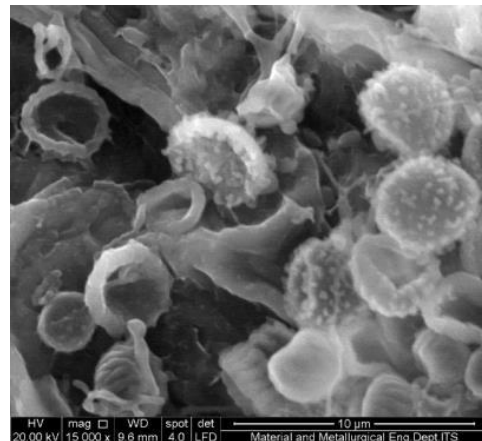
(a)



(b)



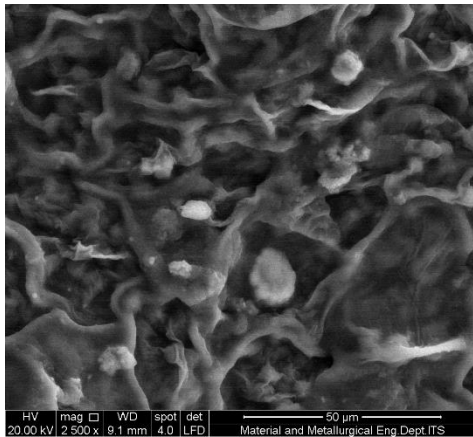
(c)



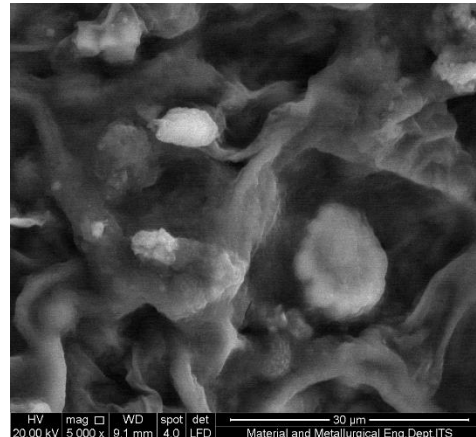
(d)

Gambar C.1. Hasil analisa SEM daun nilam kering sebelum ekstraksi dengan perbesaran: (a) 2.500 kali (b) 5.000 kali (c) 10.000 kali (d) 15.000 kali

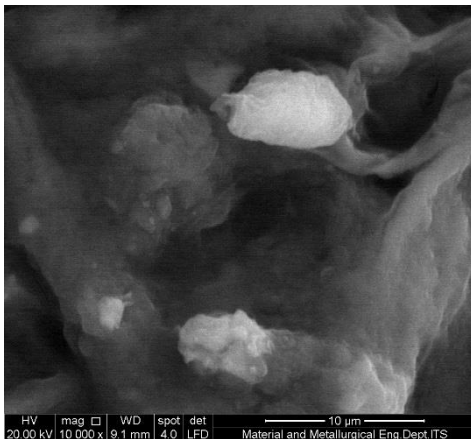
2. Hasil Analisa SEM Daun Nilam Kering Setelah Diekstrak dengan Metode *Microwave-Air Hydrodistillation*



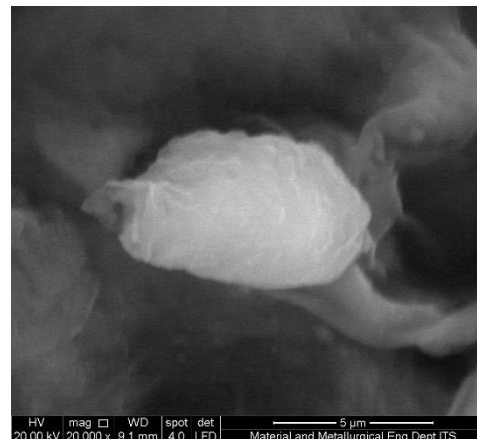
(a)



(b)



(c)



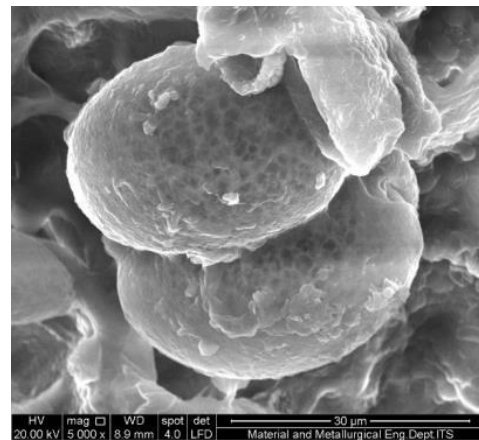
(d)

Gambar C.2. Hasil analisa SEM daun nilam kering setelah ekstraksi menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dengan perbesaran: (a) 2.500 kali (b) 5.000 kali (c) 10.000 kali (d) 20.000 kali

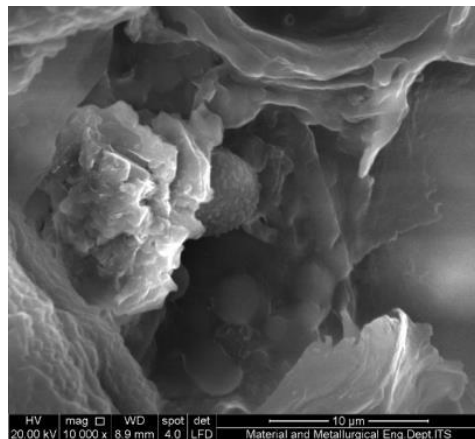
3. Hasil Analisa SEM Daun Nilam Kering Setelah Diekstrak dengan Metode *Solvent-Free Microwave Extraction*



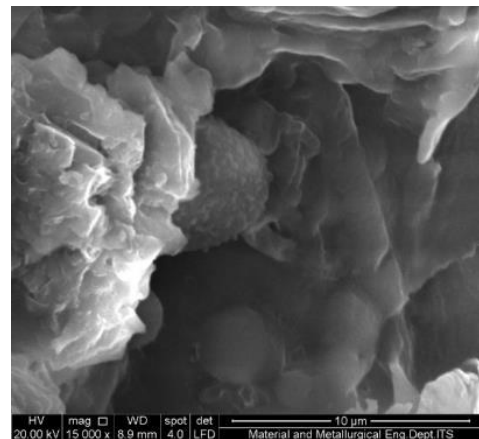
(a)



(b)



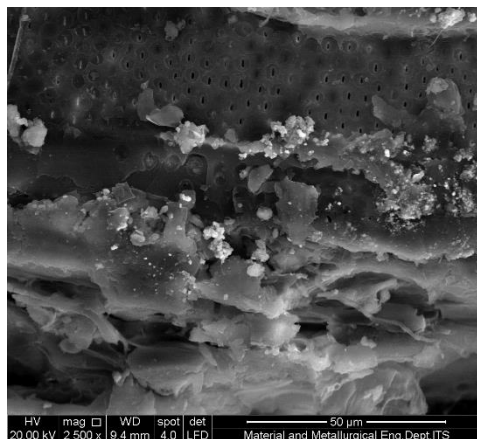
(c)



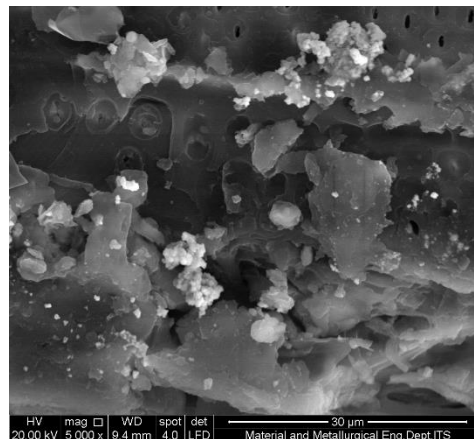
(d)

Gambar C.3. Hasil analisa SEM daun nilam kering setelah ekstraksi menggunakan metode *solvent-free microwave extraction* dengan perbesaran: (a) 2.500 kali (b) 5.000 kali (c) 10.000 kali (d) 15.000 kali

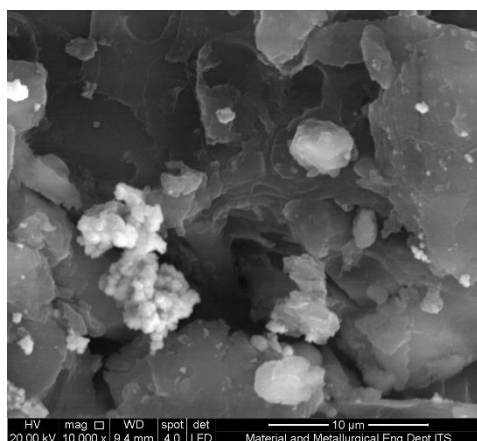
4. Hasil Analisa SEM Gaharu Sebelum Ekstraksi



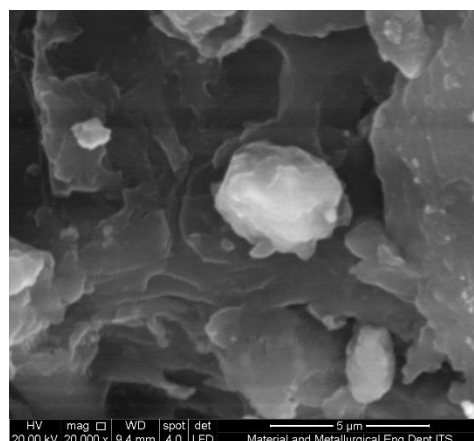
(a)



(b)



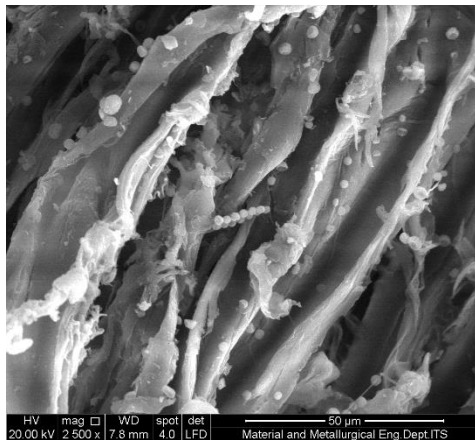
(c)



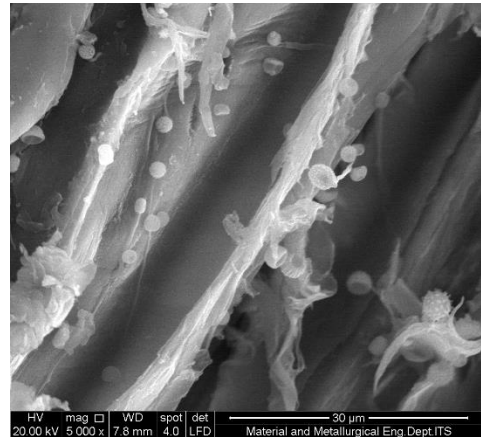
(d)

Gambar C.4. Hasil analisa SEM gaharu sebelum ekstraksi dengan perbesaran:
(a) 2.500 kali (b) 5.000 kali (c) 10.000 kali (d) 20.000 kali

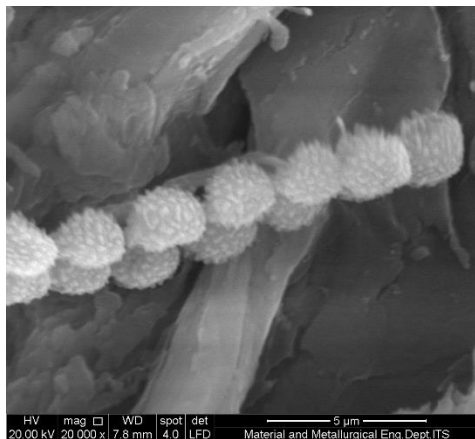
5. Hasil Analisa SEM Gaharu Setelah Diekstrak dengan Metode *Microwave-Air Hydrodistillation*



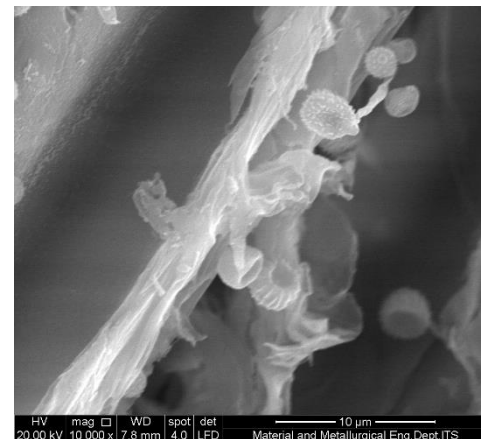
(a)



(b)



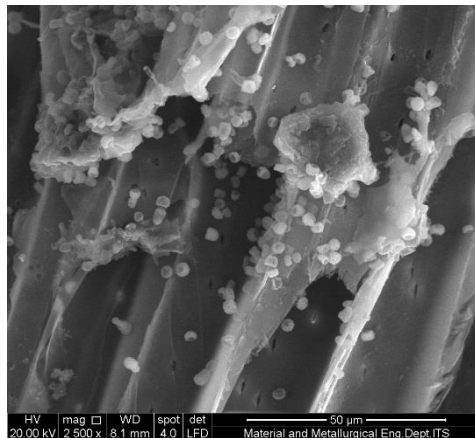
(c)



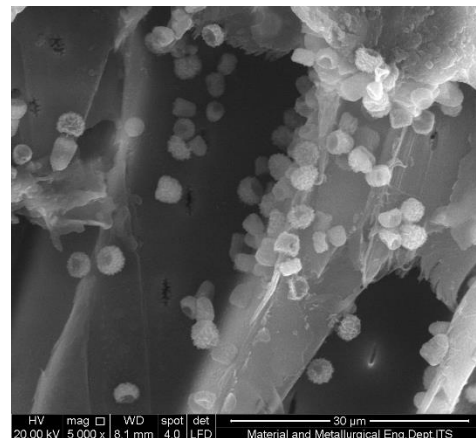
(d)

Gambar C.5. Hasil analisa SEM gaharu setelah ekstraksi menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dengan perbesaran: (a) 2.500 kali (b) 5.000 kali (c) 10.000 kali (d) 20.000 kali

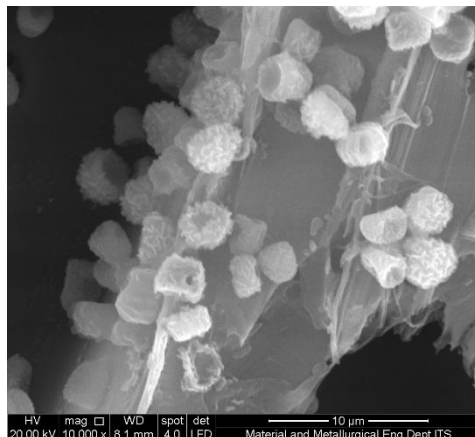
6. Hasil Analisa SEM Gaharu Setelah Diekstrak dengan Metode *Solvent-Free Microwave Extraction*



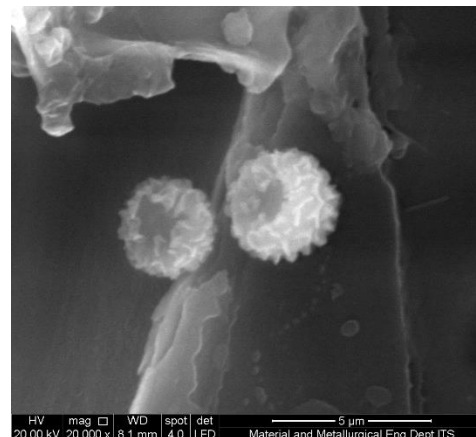
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar C.6. Hasil analisa SEM gaharu setelah ekstraksi menggunakan metode *microwave air-hydrodistillation* dengan perbesaran: (a) 2.500 kali (b) 5.000 kali (c) 10.000 kali (d) 20.000 kali

BIOGRAFI PENULIS



Penulis yang bernama Ditta Kharisma Yolanda Putri dilahirkan di Jember, Jawa Timur pada tanggal 21 Desember 1994. Penulis yang merupakan anak pertama dari 2 bersaudara ini besar dan tumbuh di Kabupaten Jember. Pendidikan formal yang dilalui penulis: SDN Grenden 06 pada tahun 2000 – 2006, SMPN 1 Puger pada tahun 2006 – 2009, SMAN 1 Jember pada tahun 2009 – 2012, dan S1 Teknik Kimia di Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2012 – 2016 dengan mengambil judul skripsi “Ekstraksi Minyak Atsiri dari Daun Kemangi (*Ocimum basilicum* L.) dan Bunga Kenanga (*Cananga odorata*) dengan Metode Solvent-Free Microwave Extraction (SFME)”.

Pada tahun 2016 setelah lulus dari pendidikan S1 tersebut, penulis melanjutkan pendidikan Masternya di Perguruan Tinggi dan Jurusan yang sama seperti pada jenjang S1 yaitu Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada jurusan Teknik Kimia dengan bidang keahlian Teknologi Proses. Pada tahap ini penulis melanjutkan dan mendalami penelitian terkait ekstraksi minyak atsiri di Laboratorium Teknologi Proses Kimia yang dibimbing langsung oleh Kepala Laboratorium Teknologi Proses Kimia, Prof. Dr. Ir. Mahfud, DEA dan pada tanggal 09 Juli 2018 berhasil melalui sidang Tesis.

Dalam penyusunan Tesis yang berjudul “**Ekstraksi Minyak Atsiri dari Daun Nilam (*Pogostemon cablin* Benth) dan Gaharu (*Aquilaria malaccensis*) dengan Metode Microwave Air-Hydrodistillation dan Solvent-Free Microwave Extraction**” ini penulis telah mengikuti beberapa seminar Internasional. Bagian dari Tesis ini telah diseminarkan di: The 3rd International Conference on Science and Technology (ICST) 2017 yang diadakan oleh Universitas Gadjah Mada dan The International Conference on Natural Products and Bioresource Science 2017 yang diadakan oleh Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) serta telah

dipublikasikan pada IOP Conference Series: Earth and Environmental Science
(Vol. 101, No. 012013, hal. 1-7).

Selanjutnya untuk korespondensi penulis dapat dihubungi pada:
dittakharisma21@gmail.com dan 083847655930.